

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA EKONOMICKÁ**

Diplomová práce

**Inovace v kontextu Smart City**

**Innovation in the context of Smart City**

Bc. Matěj Štěpán

Plzeň 2022

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma

*„Inovace v kontextu Smart City“*

vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce za použití pramenů uvedených v příložené bibliografii.

V Plzni, dne 20.4.2022

Bc. Matěj Štěpán

## **Poděkování**

Mé poděkování patří doc. Ing. Jiřímu Vackovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Milanu Šrámkovi a Ing. Jakubovi Štěpánovi za cenné informace a názory ohledně projektu vodíkové tramvaje pro město Fo-šan. V poslední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za velkou podporu po celou dobu studia.

# Obsah

<b>Úvod</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Management inovací</b> .....	<b>8</b>
1.1 Vymezení pojmu a významu inovace.....	8
1.2 Členění inovací dle Oslo manuálu.....	9
1.3 Řízení inovací.....	10
1.3.1 Inovační proces .....	10
1.3.2 Bariéry inovací dle Oslo manuálu.....	11
<b>2 Průmysl 4.0</b> .....	<b>13</b>
2.1 Historický vývoj průmyslu.....	14
2.2 Základní systémy Průmyslu 4.0.....	15
2.2.1 Big Data.....	16
2.2.2 Umělá Inteligence a strojové učení .....	16
2.2.3 Cloud computing.....	17
2.2.4 Kyberfyzikální systémy (CPS).....	17
2.2.5 Internet věcí (IoT) .....	18
2.2.6 Internet energie (IoE) .....	19
2.2.7 Internet služeb (IoS).....	20
2.2.8 Internet lidí (IoP).....	20
<b>3 Smart City</b> .....	<b>21</b>
3.1 Definice konceptu Smart City .....	21
3.2 Strategické kroky a cíle konceptu Smart City .....	23
3.2.1 Rozdělení typů projektů Smart City.....	24
3.2.2 Rámec konceptu Smart City.....	24
3.2.3 Cíle udržitelnosti rozvoje dle OSN .....	25

3.3	Prioritní oblasti konceptu .....	26
3.3.1	Čtyři úrovně a tři pilíře konceptu Smart City .....	26
3.3.2	Smart Government – Chytrá vláda/správa.....	28
3.3.3	Smart Economy – Chytrá ekonomika.....	29
3.3.4	Smart Grid – Chytré sítě .....	30
3.3.5	Smart Living – Chytré bydlení .....	31
3.3.6	Smart People – Chytří lidé.....	32
3.3.7	Smart Environment – Chytré životní prostředí.....	33
3.3.8	Smart Mobility – Chytrá mobilita a doprava .....	35
<b>4</b>	<b>Vodík jako zelené palivo budoucnosti.....</b>	<b>37</b>
4.1	Výroba a skladování vodíkového paliva .....	37
4.2	Bezpečnost vodíkového paliva.....	41
4.3	Využití vodíku.....	42
<b>5</b>	<b>Vodíková tramvaj .....</b>	<b>44</b>
5.1	Škoda Transportation a.s. ....	44
5.1.1	TriHyBus .....	46
5.2	Projekt: Vodíkové tramvaje pro město Fo-šan.....	47
5.2.1	Město Fo-šan a vodík.....	47
5.2.2	Konstrukce a pohon tramvaje .....	48
5.2.3	Čerpací stanice .....	53
5.2.4	Trasa tramvaje.....	54
5.2.5	První jízda nové vodíkové tramvaje .....	55
<b>6</b>	<b>Ekonomické hodnocení projektu dle metody CBA .....</b>	<b>56</b>
6.1	Analýza přínosů a nákladů .....	56
6.2	Struktura CBA.....	57
6.2.1	Definování projektu a identifikace zainteresovaných skupin .....	57

6.2.2	Vymezení významných nákladů a přínosů.....	57
6.2.3	Rámec ukazatelů efektivity a dopadů projektu .....	57
6.2.4	Identifikace a analýza rizika.....	58
6.2.5	Závěrečné shrnutí .....	58
6.3	Vlastní ekonomická analýza.....	58
6.3.1	Definování cílů projektu.....	58
6.3.2	Identifikace zainteresovaných skupin .....	59
6.3.3	Analýza nákladů projektu.....	59
6.4	Bariery pro nasazení FCH tramvají/vozidel .....	68
6.5	Přínosy projektu.....	69
6.6	Zhodnocení inovačního projektu .....	70
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>71</b>
	<b>Citovaná literatura .....</b>	<b>73</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>82</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>83</b>
	<b>Seznam Grafů .....</b>	<b>84</b>
	<b>Přílohy</b>	
	<b>Abstrakt</b>	
	<b>Abstract</b>	

# Úvod

Lidská společnost má potřebu se neustále vyvíjet a posouvat kupředu. V historii proběhlo několik průmyslových revolucí, během kterých došlo k objevu nového zdroje energie a bylo vynalezeno mnoho lidstvu prospěšných zařízení. My se momentálně nacházíme v období čtvrté průmyslové revoluce (tzv. Průmyslu 4.0).

V první řadě je cílem mé práce vytvořit ucelenou definici pojmu inovace, což není úkol úplně snadný, vzhledem k tomu, že každý autor se na ně dívá z jiného úhlu. Dále se zaměřím na členění a řízení inovací.

Další důležitou částí bude již zmiňovaný „Průmysl 4.0.“ Nejprve shrnu průběh předchozích průmyslových či vědeckých revolucí a poté se zaměřím na koncept průmyslu 4.0, kde popíšu jeho jednotlivé komponenty.

Poté se zaměřím na koncept Smart City a jeho oblasti. Moderní technologie se uplatňují ve všech oblastech života a ani řízení měst nebo doprava nejsou výjimkou. Cílem je zformulovat cíle konceptu Smart City, přiblížit jeho prioritní oblasti a popsat různé oblasti, kde se „chytré“ neboli Smart technologie uplatňují.

Ve všech oblastech „chytrého“ žití se klade důraz na životní prostředí. Lidé se snaží zpomalit globální oteplování, zabraňovat znečištění ovzduší a přírody, snižovat produkci skleníkových plynů a tím chránit naši planetu. Proto se v další části mé práce zaměřím na vodík jako na potenciální zelené palivo budoucnosti. Popíši jednotlivé typy vodíku, možnosti jeho výroby, způsoby jeho skladování a distribuce a vyzdvihnu jeho bezpečnost.

Vodík je potenciální palivo budoucnosti. V praktické části se zaměřím na využití vodíku v městské hromadné dopravě, konkrétně využití světově první vodíkem poháněné tramvaje.

V tomto projektu, na kterém se podílela Škoda Transportation, bylo cílem vyvinout a uvést do provozu vodíkovou tramvaj, snížit emise  $CO_2$  a rozvinout vodíkovou ekonomiku. Zhodnotím projekt vodíkové tramvaje pomocí analýzy nákladů a přínosů, zjistím jeho efektivnost a dopad na životní prostředí.

# 1 Management inovací

Pojem inovace je v dnešní moderní době zcela běžný a hojně používaný. Inovace lze jednoduše vysvětlit jako nějakou změnu, a to v jakémkoliv směru. Současná doba, 21. století, je naprosto charakteristická rychlými změnami v doslova veškerých aspektech lidského života. Lidská vynalézavost, projevující se potřebou učení se, rozvoje a hledání nových a netradičních způsobů a věcí v kombinaci s moderními technologiemi, nemá hranic, a proto jsou inovace tolik důležité. Jednak jsou důležité pro člověka jako takového a jednak pro podniky, které musí neustále vyvíjet své produkty a hledat cesty, jak je prodat svým zákazníkům.

## 1.1 Vymezení pojmu a významu inovace

Najít jednotné vymezení pojmu napříč literaturou je prakticky nemožné a ve všech odborných publikacích se liší. Jelikož se každý autor na inovace dívá z jiného úhlu, jsou jejich definice subjektivní.

Obecně lze tedy inovace definovat jako proces, který začíná myšlenkou nebo představou o určitém zlepšení a postupnými kroky vývoje je přivést k životu neboli k jejich implementaci. Dokud není tento nápad dotažen do konečné implementace a uveden na trh, nelze takový inovační proces považovat za kompletní (Klímová, 2006).

Peter Drucker (1993) ve své knize popsal inovace jako:

*„Inovace jsou specifickým nástrojem podnikatelů, prostředkem, jehož pomocí využívají změn jako příležitosti pro podnikání v odlišné oblasti nebo poskytování odlišných služeb. Mohou být prezentovány jako teoretická disciplína, které se lze naučit a které lze prakticky využívat. Podnikatelé musejí cílevědomě hledat zdroje inovací, to znamená změny a jejich symptomy, které jsou signálem příležitostí k úspěšným inovacím. A musejí znát a umět aplikovat principy úspěšných inovací.“* (Drucker, 1993)

Národní inovační strategie České republiky ku příkladu Evropské komise definuje inovace jako:

*„Inovace je obnova a rozšíření škály výrobků a služeb a s nimi spojených trhů, vytvoření nových metod výroby, dodávek a distribuce, zavedení změn řízení, organizace práce, pracovních podmínek a kvalifikace pracovní síly.“* (on-line, nedatováno; Ing. Jaroslav Jasanský, 2006)



## 1.2 Členění inovací dle Oslo manuálu

### **Produktová inovace**

Produktové inovace představují implementování zdokonaleného nebo zcela nového produktu (zboží či služby) na trh. Inovace zde představují zlepšená výrobní technologie, použité materiály nebo jejich inovativní zpracování, technické specifikace či jiné funkční charakteristiky. Inovované produkty by měli poté přinášet větší prodeje a spokojenost zákazníků spolu se získáním lepší pozice na trhu a tím i větší zisk (ČSÚ, 2018).

### **Procesní inovace**

Procesní inovace představuje významné zlepšení nebo zavedení zcela nového procesu produkce nebo dodavatelských metod. Změny se týkají především techniky, softwaru nebo zařízení. Cílem procesních inovací je především vyšší efektivita procesů a tím i znatelná úspora nákladů (ČSÚ, 2018).

### **Marketingová inovace**

Marketingové inovace spočívají v zavedení pro podnik doposud nových metod, které ale nemusí být jeho vlastním nápadem. Nové marketingové metody jsou zaměřené na významné změny designu produktu, ocenění, podpoře produktu či prodejní kanály. Těmito marketingovými inovacemi si podnik nejen utvrzuje svůj post na trhu, ale dokáže i penetrovat trhy nové (ČSÚ, 2018).

### **Organizační inovace**

Organizační inovace se zaměřují na zlepšení nebo zavádění nových podnikových a obchodních praktik, interní organizaci pracovních míst a v neposlední řadě také na organizaci vnějších vztahů. Zaváděním organizačních inovací se cílí na efektivnější uspořádání a práci lidí a tím i snižování nákladů (ČSÚ, 2018).

## 1.3 Řízení inovací

### 1.3.1 Inovační proces

Na inovační proces se lze dívat jako na souhrn aktivit, které začínají u nápadu a vyvrcholí v nový inovativní produkt, tím může být nový výrobek, služba nebo proces, který bude implementován a užíván v ekonomických a sociálních oblastech. Aby bylo možné dosáhnout úspěšných inovačních procesů, je nutné klást důraz na pečlivost a správné řízení jednotlivých fází inovačního procesu od přípravy, samotné realizace a konečného zavedení do komerčního využití.

Pro podnik jsou inovační procesy klíčové zejména oblastech vyhledávání nových obchodních příležitostí. Důležité je také formulování strategií a zvyšování efektivity využívání materiálních zdrojů, které jsou úzce spjaty s využívanými technologiemi a lidskou prací. Je nezbytné vyčlenit dostačující finanční a lidské zdroje spolu s managementem, kde funguje správné plánování, koordinace a kontrola.

Stejně, jako se autoři neshodují ve vymezení pojmu inovace, jsou jejich názory na fáze inovačního procesu také odlišné. Dle Skokana (2004) rozdělujeme fáze inovačního procesu na tři části:

**Invence** – vše začíná myšlenkou, nápadem, který je potřebné detailně rozpracovat do návrhů podoby, poté navrhnout výzkum a vývoj. Dále se pokračuje k analýze proveditelnost spolu s ekonomickými dopady. Výsledkem této první fáze je rozhodnutí, zda se bude inovační proces dále rozvíjet a pokračovat nebo bude celý nápad zamítnut (Skokan, 2004).

**Adopce** – neboli osvojení. Osvojení v této fázi je spojeno s prvním kontaktem „nápadu“ trhem neboli představení zákazníkům. S tímto seznámením přichází pro podnik finanční zátěž v několika oblastech počínaje výrobou, propagací a prodejem, dále se musí počítat s náklady na organizační úkony spolu s investičními aktivitami. Pro dokončení této fáze je charakteristické první komerční využití „nápadu“ neboli jeho přijetí a využití trhem. Problémem je zde čas, protože ne všechny nové nápady jsou lehce přijatelné a všemi využitelné a nelze považovat tuto fázi za dokončenou, dokud nebude nápad zcela akceptován trhem, proto je tato fáze často nejdelší (Skokan, 2004).

**Difúze** – je z fyziky proces samovolného rozptylování částic v prostoru. Podobné je to s nápadem v poslední fázi inovačního procesu. Informace o inovaci se aktivně šíří mezi zákazníky a tím se zvětšuje povědomí o ní. Velké úskalí v této fázi je nerovnoměrné šíření informací zapříčiněno velkým počtem informačních kanálů a také zákaznické neochotě či nepochopení. Jelikož tato nevyzpytatelnost nelze nijak naplánovat, následky jsou výrazné v nákladech podniku (Skokan, 2004).

### **1.3.2 Bariéry inovací dle Oslo manuálu**

Na bariéry inovačních procesů lze nahlížet jako na překážky, které různě velkým způsobem omezují inovační aktivity či úplně brání podnikům v implementaci inovací. Tyto bariéry mohou působit jak uvnitř samotného podniku nebo také z jeho okolí. Nejvíce obvyklými bariérami v inovačních procesech jsou pro podniky nedostatečné finanční zdroje, čas a často také nedostatek kreativních zaměstnanců s potřebnými kvalifikacemi (Dvořák, 2006).

Dle Oslo manuálu dělíme bariéry inovačních procesů do tří skupin:

#### **Ekonomické faktory (OECD, 2018)**

- Příliš vysoké náklady
- Nadměrné vnímání rizika
- Nedostatek zdrojů uvnitř podniku
- Nedostatek finančních prostředků z vnějších zdrojů

#### **Podnikové faktory (OECD, 2018):**

- Nedostatečný inovační potenciál
- Nedostatek kvalifikovaného personálu
- Těžko kontrolovatelné výdaje na inovace
- Nedostatek informací o příslušném trhu
- Nedostatek informací o nových technologiích
- Nedostatek informací o financování podpor z fondů
- Odpor ke změně uvnitř firmy
- Nedostatek příležitostí ke spolupráci
- Nedostatky v dostupnosti externích služeb

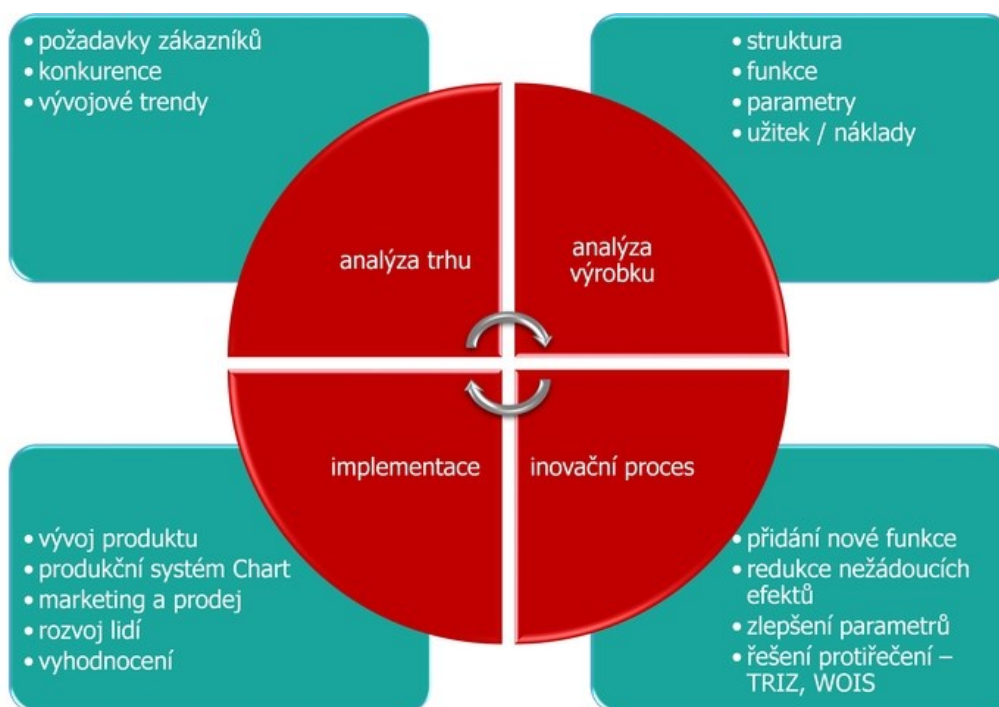
### Ostatní faktory (OECD, 2018):

- Nedostatek technických možností
- Nedostatečná infrastruktura
- Není potřeba inovovat vzhledem k předchozím inovacím
- Nedostatečná ochrana vlastnických práv
- Legislativa, normy, standardy, daňový systém
- Nízká odezva zákazníků na nové produkty a procesy

Číselná interpretace problémů s inovacemi v rámci inovačního cyklu (viz Obrázek 1) (API, 2022):

- Více než 80 % inovací je neúspěšných ještě předtím, než se dostanou na trh.
- Více než 80 % inovací, které se dostanou na trh, je neúspěšných.
- Více než 90 % inovací je uvedených na trh pozdě, mají překročený rozpočet nebo mají nižší kvalitu, než bylo plánováno.
- 97 % patentů nevrátí zpět náklady na ně.
- Analýza 3 milionů inovací ukázala, že převratné inovace jsou založeny na:
  - 85 % - vyřešení protirečení.
  - 15 % - přidání nové funkce nebo atributu.

Obrázek 1 - Inovační cyklus



Zdroj: (API, 2022)

## 2 Průmysl 4.0

Za posledních 30 let, aniž bychom to nějak zvlášť speciálně pozorovali, prošla celá společnost výraznou změnou (viz Obrázek 2). Přišel internet, který naprosto změnil naše vnímání, a to vnímání jak technologického pokroku, tak úrovně života, zkrátka všeho. Dnes může prakticky kdokoliv s kýmkoliv komunikovat a je naprosto nepodstatné, na jakém místě naší planety se právě nacházíme. Dalším aspektem dnešní doby je přístup k informacím, kdy jsme jimi doslova dennodenně přesyceni prostřednictvím velkého množství informačních kanálů od zpravodajství až po sociální sítě. Díky internetu se vytvořil svět nul a jedniček neboli virtuální svět, který se každým dnem neustále vyvíjí a roste.

Koncept Průmyslu 4.0 je vize, kam by se měla průmyslová výroba posouvat v době, kdy se začali pomocí internetu propojovat lidé, počítače, stroje ale dokonce i stroje s výrobky navzájem. Je to tedy ve zkratce koncept, který nám říká, jakým způsobem pomocí virtualizace a virtuálního světa optimálně řídit svět reálný.

Průmysl 4.0 je soubor technologických změn, které mají vytvořit ucelený rámec pro zavedení do výrobního procesu. Páteř Průmyslu 4.0 se samozřejmě týká způsobu výroby produktů, tento fenomén s největší pravděpodobností ovlivní všechny části našeho světa a má dopady na všechny typy podnikání. Zjednodušená definice Průmyslu 4.0 je "aplikace internetu věcí, cloud computingu, kyberfyzikálních systémů a kognitivních počítačů do prostředí výroby a služeb. Automatizace a konektivita v rámci výrobního světa není novinkou. Fyzické na digitální (provádění fyzických činností a jejich převod na digitální záznamy) a digitální na digitální (sdílení poznatků pomocí umělé inteligence) jsou také součástí výroby již řadu let. Se zavedením výše uvedených nástrojů spolu s robotikou však nyní může výroba pokročit na plně propojenou a flexibilní úroveň, aby se zvýšila hodnota jak v samotné továrně, tak v celém dodavatelském řetězci. Právě přechod od digitálního k fyzickému světu (použití algoritmů k převodu rozhodnutí z digitálního světa na změny ve fyzickém světě) je v podstatě nejdůležitější součástí Průmyslu 4.0 (Slavík, 2017).

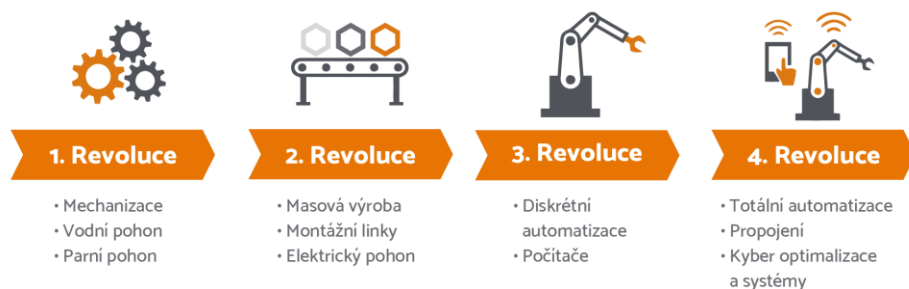
## 2.1 Historický vývoj průmyslu

**První průmyslová revoluce** je datována na přelom 18. až 19. století. Zlomovým okamžikem bylo použití nového zdroje energie, a sice páry. Ve Velké Británii, která byla v tomto období považována za nejvyspělejší zemi světa, představil James Watt v roce 1795 parní stroj. Tímto převratným vynálezem se změnilo fungování celé společnosti, které se projevilo v dopravě, industrializaci výroby a přenosu informací. Lidé se začali stěhovat z venkova do větších měst v důsledku rozšiřující se industrializace, díky které došlo i ke značnému nahrazování manuální práce za mechanickou.

**Druhá průmyslová revoluce** přišla zhruba o sto let později na konci 19. století. Hlavními charakteristickými znaky této revoluce byla elektřina, výrobní linky a dělba práce. Vynalezení nového zdroje energie, elektřiny, posunulo společnost o další krok kupředu, jelikož nebylo zapotřebí velkých a těžkých parních strojů a veškeré stroje mohly být znatelně menší a lehčí. Významnými vynálezci byli H. Ford, který přišel s myšlenkou výrobní linky poháněné elektrickým proudem, dále T.A. Edison s vynálezem žárovky a nakonec N. Tesla, který vynalezl elektrický transformátor.

**Třetí průmyslová revoluce** se datuje zhruba od druhé poloviny 20. století. Tato prakticky nedávná doba je označována jako vědeckotechnická revoluce, jelikož je to období velkých objevů a rozvoje přírodních, technických a výzkumných věd. Důležitý byl rozvoj elektrotechniky a kybernetiky, díky kterým došlo k velmi rychlému vývoji počítačů, kde technologie pokročila od děrovaných štítků až po mikročipy. Počítače se stali nedílnou součástí veškerého průmyslu a poté i samotné společnosti. Dalším velkým průlomem byl výzkum jádra a jeho využití v energetice, tím lidstvo dostalo nový, velice účinný zdroj energie. Významným milníkem této doby, byl první let do vesmíru a poté i přistání na Měsíci s lidskou posádkou.

Obrázek 2 - Historie průmyslu



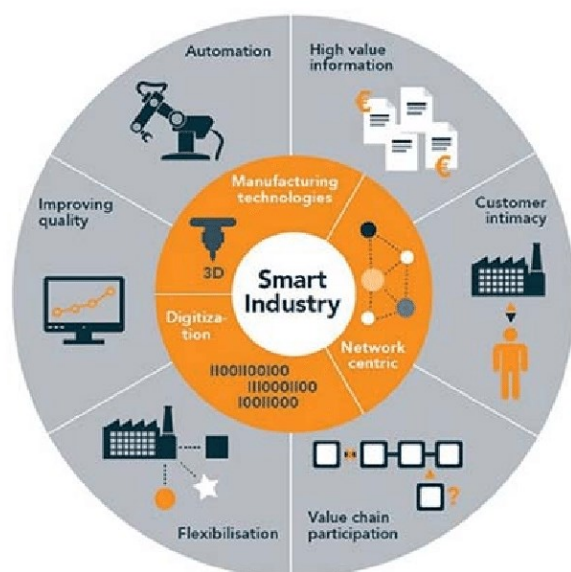
Zdroj: (LEANINDUSTRY, 2022)

## 2.2 Základní systémy Průmyslu 4.0

Jak již bylo zmíněno, hlavním pilířem Průmyslu 4.0 je internet, díky kterému jsme schopni propojit dohromady stroje, lidi a informační sítě do jednoho celku, jak lze vidět na Obrázek 3.

V kontextu Průmyslu 4.0 se nejčastěji skloňují termíny jako internet věcí, internet služeb či internet energií. Společným jmenovatelem je internet, což znamená, že jednotlivé komponenty jsou nějakým způsobem napojeny na internet a mohou tak spolu vzájemně komunikovat. Hlavní myšlenkou principu internetu věcí je, že jednotlivé fyzické objekty jsou vybaveny senzory, vestavěným mikropočítačem a připojením k internetu, to jim umožňuje sbírat, předzpracovávat, odesílat a přijímat data. Aplikace toho konceptu se neomezují jen na vlastní výrobu v rámci inteligentní továrny, v níž jsou těmito objekty inteligentní senzory, stroje, pracovníci nebo samotné výrobky, ale uplatní se i v širším kontextu inteligentních továren. Ten zahrnuje např. inteligentní budovy (tj. budovy které používají automatizované procesy k automatickému řízení provozu budovy, včetně vytápění, větrání, klimatizace, osvětlení, zabezpečení a dalších systémů), chytré energetické sítě (tj. prvky chytré sítě integrované v rámci vlastního výrobního podniku a také napojení výrobního podniku na příslušnou energetickou síť) nebo dopravně-  
přepavní procesy v dodavatelsko-odběratelském řetězci (inteligentní vozidla, inteligentní logistické sítě, dopravní infrastruktury) a další.

Obrázek 3 - Koncept průmyslu 4.0



Zdroj: (Bartodziej, 2017)

### **2.2.1 Big Data**

Všechny moderní technologie připojené k internetu neustále ukládají a vysílají velké objemy dat. Tato data se ukládají do rozsáhlých souborů ve velkých úložištích, kde jsou poté analyzována. Velkou výzvou ohledně těchto objemných dat je právě jejich analýza. Jelikož jsou shromažďována data různého typu, je jejich roztrídění a následné vyhodnocení náročné a je zapotřebí složitých výpočetních algoritmů. Přínosy analýzy těchto objemných dat jsou obrovské, díky ní jsme schopni nalézt procesy a vlastnosti, které i po hlubším pátrání nejsou patrné, což může vést například ke snížení nákladů, zvýšení efektivity výroby a spokojenosti zákazníků či eliminaci možného rizika (EU parlament, 2021).

### **2.2.2 Umělá Inteligence a strojové učení**

Umělá inteligence (UI) označuje systémy navržené lidmi, které s daným komplexním cílem jednájí ve fyzickém či digitálním světě dle prostředí jejich nasazení, interpretují shromážděná strukturovaná, popř. nestruturovaná data, vyvozují znalosti odvozené z těchto dat a rozhodují o tom nejlepším řešení, které je třeba provést (podle předem definovaných parametrů) k dosažení daného cíle. Systémy UI mohou být také navrženy tak, aby se naučily přizpůsobovat své chování analýzou toho, jakým způsobem jejich prostředí ovlivnily předchozí akce. Jako vědecká disciplína zahrnuje UI několik přístupů a technik, jako je strojové učení, strojové uvažování (které zahrnuje plánování, reprezentaci znalostí a uvažování, vyhledávání a optimalizaci) a robotika (která zahrnuje ovládání, vnímání, senzory a akční členy, stejně jako integraci všechny ostatní techniky do kyberneticko-fyzikálních systémů) (EUCommission, 2018).

Umělá inteligence a strojové učení umožňují výrobním společnostem plně využít objem informací generovaných nejen v továrně, ale napříč jejich obchodními jednotkami, a dokonce i od partnerů a zdrojů třetích stran. Umělá inteligence a strojové učení mohou vytvářet poznatky poskytující viditelnost, předvídatelnost a automatizaci operací a obchodních procesů. Například průmyslové stroje jsou náchylné k poruchám během výrobního procesu. Použití dat shromážděných z těchto aktivit může firmám pomoci provádět prediktivní údržbu založenou na algoritmech strojového učení, což má za následek delší dobu provozuschopnosti a vyšší efektivitu (Bartodziej, 2017).



### 2.2.3 Cloud computing

Cloud computing je poskytování různých služeb prostřednictvím internetu. Tyto zdroje zahrnují nástroje a aplikace, jako jsou úložiště dat, servery, databáze, sítě a software. Namísto uchovávání souborů na vlastním pevném disku nebo místním úložném zařízení umožňuje cloudové úložiště jejich ukládání do vzdálené databáze. Pokud má elektronické zařízení přístup k webu, má přístup k datům a softwarovým programům pro jejich provoz. Cloud computing je pro lidi a firmy oblíbenou volbou z řady důvodů, včetně úspory nákladů, vyšší produktivity, rychlosti a efektivity, výkonu a bezpečnosti.

*„Jednoduše řečeno, cloud computing je doručování výpočetních služeb, včetně serverů, úložišť, databází, sítí, softwaru, analytických nástrojů a inteligentních funkcí, přes internet („cloud“) a nabízí rychlejší inovace, flexibilitu prostředků a cenové výhody. se obchodní potřeby.“* (Microsoft, 2019).

### 2.2.4 Kyberfyzikální systémy (CPS)

Pojem kyberfyzikální systémy přišel v roce 2006 z USA a popisoval systémy, které se skládají z fyzických zařízení řízených počítačovými algoritmy.

*„Základem je tedy spolupráce samostatných řídicích (výpočetních) jednotek, které jsou schopny se autonomně rozhodovat, řídit svěřený technologický celek a zejména se stát samostatným a plnohodnotným členem komplexních výrobních celků.“* (IOT-Portál, 2016).

Dle Maříka (2016) jsou systémy CPS základními kameny moderních „inteligentních továren“, které budou samostatně mezi sebou vzájemně komunikovat, kooperovat, korigovat a kontrolovat. V detailu to znamená, že veškeré senzory, stroje, součástky a informační systémy budou propojeny mezi sebou v rámci lokální sítě, která bude součástí globální sítě. V této globální síti bude neustále probíhat výměna dat mezi jednotlivými systémy, které se budou neustále optimalizovat, dokáží pružně reagovat na změny poptávky po produktech a budou je schopny velmi rychle a efektivně vyrobit (Mařík, 2016).

Stejně jako internet změnil způsob, jakým lidé interagují s informacemi, kyberfyzikální systémy mění způsob, jakým lidé interagují s inženýrskými systémy. Kyberfyzikální systémy integrují snímání, výpočty, řízení a vytváření sítí do fyzických objektů a infrastruktury a propojují je s internetem a mezi sebou navzájem. Kyberneticko-fyzikální

systemy pokrývají ústřední témata Průmyslu 4.0, jako je logistika, výroba, mobilita a energetika. Průmysl 4.0 i CPS se vyznačují vysokým stupněm propojení a pracují autonomně ve velkých částech. Hlavní výzvou je vytvořit standardy, které umožní interoperabilitu kyberneticko-fyzikálních systémů. Pouze díky plynulé interakci různých technologií a hardwarových či softwarových komponent může Průmysl 4.0 plně využít svůj potenciál. Pro řízení složitých zařízení a procesů je nezbytné propojení kyberneticko-fyzikálních systémů napříč společnostmi (NSB, 2022).

### 2.2.5 Internet věcí (IoT)

Internet věcí lze jednoduše popsat jako systém vzájemně propojených zařízení (senzory, stroje, přístroje) pomocí internetu, která jsou schopná vzájemné výměny dat (viz Obrázek 4). Všechna tato zařízení mají svůj operační systém a pracují jako samostatný prvek, který má možnost připojení se do sítě (internet, Wifi, USB, ...) a komunikovat neboli předávat data/informace ostatním připojeným zařízením. Internet věcí není jen otázkou průmyslu, nýbrž se rozšířil do všech oblastí společnosti od chytrých hodinek až po autonomní vesmírné sondy. Všechna tato „chytrá“ zařízení dále slouží i pro sběr dat a jejich následné zpracování, například dopravní navigace (např. Waze), která díky datům od řidičů v dané lokaci dokáže schopně monitorovat provoz a doporučit ideální trasu. Výhody IoT jsou tedy hlavně konektivita a vzdálený přístup k informacím skrze internet, dále také autonomní správa a kontrola zařízení, kdy nám zařízení samo nahlásí poruchu nebo potřebný servis (Kodousková, 2021).

Rychlý technologický pokrok spolu s jeho masovým používáním, učinilo moderní technologie cenově dostupné. Níže je stručný popis dnešního praktického využití IoT technologií (ORACLE, 2021).

- **Přístup k nízkonákladové technologii senzorů s nízkou spotřebou energie.** Cenově dostupné a spolehlivé senzory umožňují využití technologií IoT více výrobcům.
- **Připojení.** Řada síťových protokolů pro internet usnadnila připojení senzorů ke cloudu a dalším "věcem" pro efektivní přenos dat.
- **Platformy cloud computingu.** Zvýšení dostupnosti cloudových platforem umožňuje podnikům i spotřebitelům přístup k IT infrastruktuře, kterou potřebují k rozšíření svých informačních systémů, aniž by ji museli ve skutečnosti spravovat.

- **Strojové učení a analytika.** Díky pokroku ve strojovém učení a analýze spolu s přístupem k různorodému a obrovskému množství dat uložených v cloudu mohou podniky shromažďovat a analyzovat přehledy rychleji a snadněji.
- **Konverzační umělá inteligence (AI).** Pokroky v neuronových sítích přinesly zpracování přirozeného jazyka (NLP) do zařízení IoT (jako jsou digitální osobní asistenti Alexa, Cortana a Siri) a učinily je přitažlivými, cenově dostupnými a životaschopnými i pro domácí použití (ORACLE, 2021).

Obrázek 4 - Internet věcí



Zdroj: (Kodoušková, 2021)

### 2.2.6 Internet energie (IoE)

Spolu s internetem věcí (IoT) přišel i pojem internet energie (IoE), který řeší otázku efektivnějšího využívání energie v neustále se digitalizující společnosti, kde poptávka po energii každým rokem stoupá nejen ze strany průmyslu, ale i spotřebitelů. Internetová konektivita a příchod chytrých zařízení spolu s miliony senzorů, potřebují čím dál tím větší množství energie, jelikož neustále data sdílejí, analyzují a ukládají. Pomocí technologie IoE mohou výrobci a producenti snížit neefektivitu stávající energetické infrastruktury tím, že zvýší výrobu, přenos a využití elektřiny. Provádění aktualizací elektrických infrastruktur umožňuje usnadnit tok energie, což může maximalizovat její

potenciál, a omezit tak jakékoli plýtvání energií. Bez jakýchkoli kritických aktualizací se spousta této energie ztrácí na trase, protože ji nemohou efektivně přenášet. Jednoduše řečeno, vedení jednoduše nemají kapacitu na to, aby přenesla veškerou vysílanou energii. Internet energie (IoE) tedy přetváří výrobu, dodávky a spotřebu energie tak, aby splňovaly vysoké energetické nároky prostřednictvím inteligentní automatizace průmyslových výrobců energie a spotřebitelů v reálném čase (Chen, 2021).

### **2.2.7 Internet služeb (IoS)**

Spousta autorů považuje internet služeb (IoS) za jeden z pilířů Průmyslu 4.0 spolu s internetem věcí (IoT) a kyberfyzikálními systémy (CPS), ale doposud neexistuje oficiální společná definice. Základní myšlenkou internetu služeb (IoS) je systematicky využívat internet pro nové způsoby tvorby hodnoty v sektoru služeb. Z pohledu IT se lze na internet věcí dívat jako na architekturu, kde nabízený software figuruje jako služba, která pracuje na stejném principu jako outsourcing obchodních procesů na bázi webové aplikace (James, 2016).

„Software jako služba je metoda doručování softwarových aplikací přes internet, na vyžádání a obvykle na základě předplatného. Pomocí SaaS (software jako služba) poskytovatelé cloudu hostují a spravují softwarovou aplikaci a její podkladovou infrastrukturu a obsluhují veškerou údržbu, jako jsou zálohování dat, softwarové upgrady a opravy zabezpečení. Uživatelé se k aplikaci připojují přes internet, obvykle pomocí webového prohlížeče v telefonu, tabletu nebo počítači.“ (Microsoft, 2019)

### **2.2.8 Internet lidí (IoP)**

Internet lidí se týká digitalizace vztahů mezi lidmi spolu se shromažďováním, zpracováním a používáním osobních údajů. IoP tvoří síť kolektivní inteligence a stimuluje interaktivní komunikaci mezi našimi digitálními já prostřednictvím digitálních zařízení, internetu a sdílení dat. Rozvoj technologií a řešení internetu lidí mohou vytvořit výkonné nástroje. V rámci aplikací umožňuje tato konektivita a sdílení digitálního já lepší a personalizovanější, prediktivní, participativní a preventivní služby jak pro jednotlivce, tak pro celou populaci obecně.

## 3 Smart City

Vzhledem k expanzi populace za posledních 40 let spolu s trendem migrace lidí z venkova do měst, který bude neustále růst, a to zejména v rozvojových zemích, je velmi důležité řešit otázku efektivní správy měst. S přibývajícím počtem obyvatel narůstají městům náklady týkajících se spotřeby energie, spotřeby vody, produkce komunálního odpadu, infrastruktury, dopravy a bezpečnostních složek. Vzniká tedy akutní potřeba tyto změny efektivně řídit, aby samotná města byla co nejvíce atraktivním místem pro život a podnikání.

Společně s rozvíjejícím se průmyslem, jehož vývoj směřující k propojování „všeho se vším“ (rozumíme tím systémy, zařízení a lidi) skrze internet, je potřeba aby i se města stala „chytrými“ a více propojenými, za použití moderních nástrojů a technik. Jedině tímto způsobem dokážeme řídit společnost směrem, kde lidé budou spokojeni s životní úrovní a zároveň se nebude zbytečně zatěžovat životní prostředí.

### 3.1 Definice konceptu Smart City

I když je koncept Smart City již několik let známý ve světě, nikde zatím není dostupná oficiální a jednotná definice ani měřitelné ukazatele tohoto konceptu a není se čemu divit, protože jde o velmi komplexní propojení mnoha odlišných vědních oborů do jednoho fungujícího celku. Jako společný názor napříč definicemi světových autorů lze koncept Smart City definovat jako nástroj, který spojuje dohromady moderní technologie, správu a společnost, aby zajistil udržitelnost měst, zlepšování kvality života a bezpečnosti obyvatel a maximální efektivnost spotřeby energie. Všechny tyto aspekty jsou klíčové pro rozvoj oblastí ekonomie, životního prostředí, dopravy, živobytí a politiky, a to vše za použití moderních technologií, jak je ukázáno na Obrázek 5.

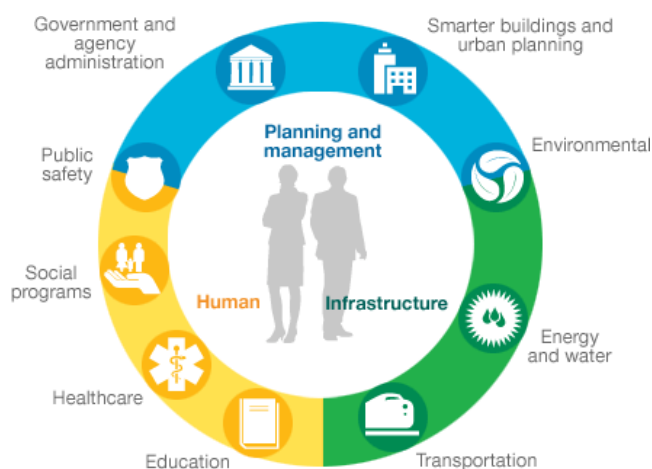
Sam Palmisano, CEO IBM, v roce 2008 na své přednášce popsal vizi, jak IBM definuje jádro každého Smart City třemi “I”:

- **Instrumentovaný** – označuje schopnost zachytit a integrovat data z okolí v reálném čase pomocí senzorů, měřičů, spotřebičů, osobních zařízení a dalších senzorů.
- **Integrovaný** – označuje integraci všech posbíraných dat do výpočetní platformy, která umožňuje sdílení těchto informací mezi různými městskými službami.
- **Inteligentní** – znamená zahrnutí komplexní analýzy, modelování, optimalizaci, vizualizaci služeb a umělou inteligenci pro lepší provozní rozhodnutí a zlepšení kvality života občanů (Bosch, 2017).

Metodika Konceptu inteligentních měst dle ministerstva pro místní rozvoj ČR z roku 2018 definuje Smart City jako: „Pojmem Smart Cities rozumíme koncept strategického řízení města, resp. obce nebo regionu (pro jednoduchost dále pouze „Smart Cities“, „koncept SC“, „SC“ bez dalšího rozlišení)“ (MMR, 2018) .

Smart City si klade za cíl pomocí moderních technologií zvyšovat kvalitu života občanů v jejich městě a dosáhnout hospodářských a sociálních cílů města. Součinností strategického řízení města a veřejnými službami jsou všechny celky městské infrastruktury (doprava, logistika, bezpečnost, energetika, správa nemovitostí aj.) v plynulém a efektivním chodu. Zřetel se v koncepci Smart City musí brát jak na „tvrdá“, tak na „měkká“ hlediska řízení městské správy spolu s harmonií šedé a zelené infrastruktury (MMR, 2018).

Obrázek 5 - Koncept Smart City



Zdroj.: (McClellan, 2017)

## 3.2 Strategické kroky a cíle konceptu Smart City

Pojetí konceptu Smart City bylo zpočátku koncipováno pro velká města s více jak 300 tisíci obyvateli jako multidisciplinární, nicméně většina řešení byla v oblastech infrastruktury jako je doprava, energetika a digitalizace správy měst. V posledních letech byla celá koncepce, díky lepší dostupnosti moderních technologií, výrazně rozšířena o prosazování konceptu Smart City i na menší města, obce nebo i regiony. Moderní podoba současného pojetí Smart City je orientována více na lidi a jejich potřeby, kde jsou požadovány inovativní přístupy v oborech jako jsou zdravotnictví, vzdělávání, kultura a sociální služby (MMR, 2021).

Smart City je pouze koncept, nikoliv přesný a univerzální návod, který jde stejným způsobem aplikovat na jakémkoliv místě naší planety, je to pouze charakteristika inovativního směru, jakým by se měly municipality ubírat. Proto je nutné, aby si samotná města či regiony připravily řádné základy v podobě: (SMOČR, 2020)

- **Strategická dokumentace** – koncepční dokumenty dlouhodobého charakteru, které obsahují detailní specifikace a strategické cíle založené na analýze současných objektivních dat na zhruba 10–15 let spolu s vytyčenými prioritami a charakteristikou socioekonomické a urbánní struktury. Dále by měly tyto dokumenty popisovat směr rozvoje a jeho systém.
- **Seznam či přehled** inovačních projektů spolu s konkrétními projekty, kterými budou strategické cíle naplňovány (SMOČR, 2020) .

Důležité je také uchopit tento koncept ze správného směru, jelikož by se mohlo mnohým zdát, že Smart City je jen o moderních technologiích, není tomu tak. Samotné zavedení technologií k efektivnímu řízení města nemůže stačit, jelikož je potřeba nastavit a správně řídit celý systém správy a organizace měst s následnou kontinuální optimalizací. Aby bylo možné dosáhnout takového dobře řízeného a fungujícího systému, musí být do společné komunikace zahrnuty všechny zainteresované strany, občané, správa města, integrované záchranné složky, partneři měst a investoři, mezi kterými je důležité vytvořit vzájemné vazby.

### 3.2.1 Rozdělení typů projektů Smart City

Projekty související s konceptem Smart City lze rozdělit dle charakteristiky produktu, způsobu realizace a implementace spolu s jejich financováním. Prvním způsobem, který rozděluje projekty je dle jejich charakteru (MMR, 2018).

- **Inovační projekty** jsou charakterizovány novým řešením vzešlým z výzkumu a vývoje. Tato nová řešení s sebou většinou nesou zátěž v nákladech i času, spolu s možnými riziky (viz první kapitola). Z pohledu měst objedávajících si inovační projekt musí být počítáno s tím, že pro dodavatele budou sloužit jako zkušební laboratoř, kde bude inovativní produkt nasazen a určitou dobu testován a optimalizován do požadovaného stavu. Celý tento proces je velice často velmi nákladný a časově náročný a není možné zcela jistě dopředu odhadnout přesný termín dokončení a implementace. Mnohdy jsou takové projekty označovány jako pilotní, jelikož jsou teprve v ranné fázi vývoje a jejich aktuální spolehlivost není nijak zaručená (Slavík, 2017).
- **Investiční projekty** se většinou týkají nákupu zařízení, technologie, služby či výstavbu nemovitostí. „Jde tedy o pořízení dlouhodobého hmotného a nehmotného majetku“. Nákup tohoto majetku je financován buďto z vlastních zdrojů nebo z cizích zdrojů jako jsou bankovní úvěry či dotace (DotaceEU, 2022).
- **Projekty lidských zdrojů** – jsou zaměřené na zlepšení procesů veřejných i soukromých institucí pomocí vzdělávacích programů, které pomohou lidem k lepší orientaci ve světě moderních technologií a jejich správnému používání (Slavík, 2017) .

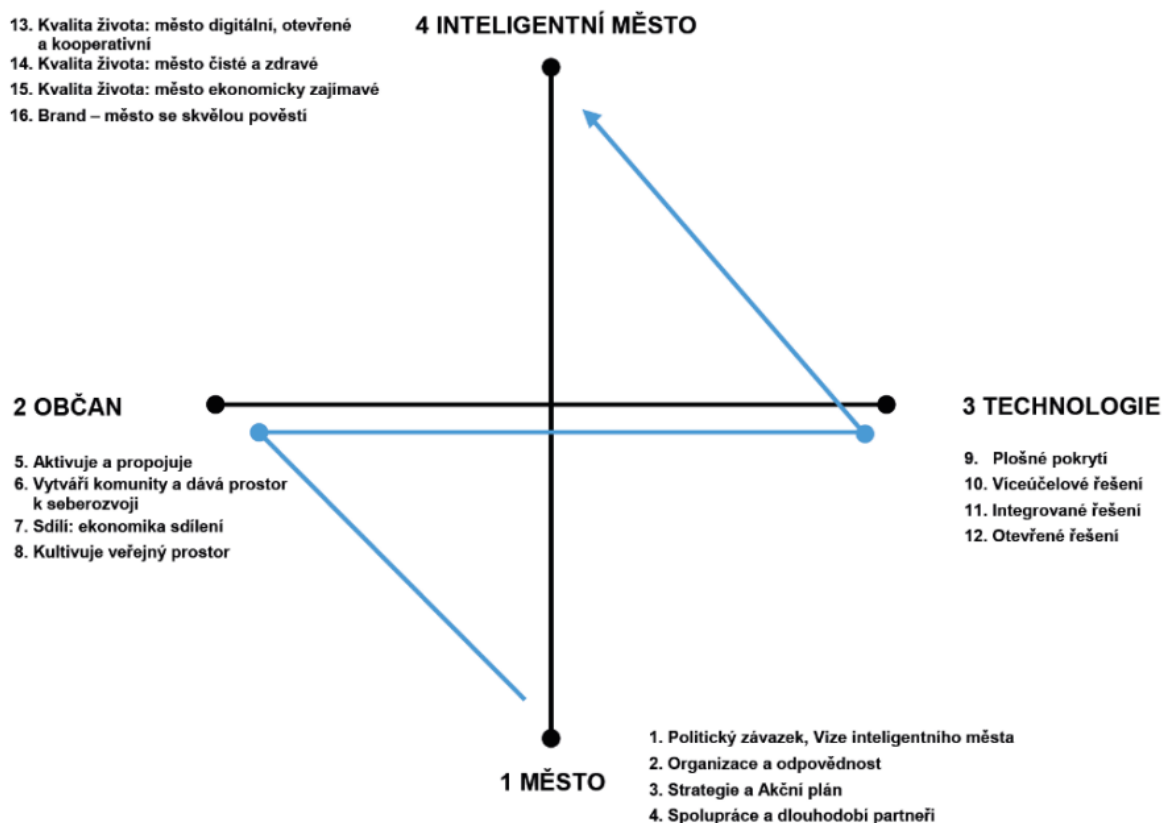
### 3.2.2 Rámec konceptu Smart City

Při tvorbě koncepce chytrého města je nedílnou součástí propojit jednotlivé městské agendy a provázat jejich řešení dohromady. Národní metodika vytvořila rámec pro usnadnění všech těchto procesů složený z 16 hierarchicky uspořádaných komponent, který by měl odpovědným orgánům sestavujících Smart City strategii pomoci s řádnou orientací a formulací strategie. Důležité je, aby se implementované moderní technologie a řešení nestala pouze izolovanými prvky, ale tvořily jednotný systém. Na obrázku (Obrázek 6) je grafické znázornění výše zmíněných 16 komponent, které lze rozdělit do 4 na sebe navazujících celků:



- **Organizace** (Město) – Spočívá v organizaci městských složek ve smyslu optimalizace jejich rozhodnutí za pomoci výsledků z analýz nasbíraných dat.
- **Komunita** (Občané) – Spočívá ve vytvoření komunikačního systému, kde budou občané „živými senzory“ předávající informace městu.
- **Infrastruktura** (Technologie) – Spočívá ve vytvoření systému, který bude neustále monitorovat infrastrukturu a v případě nastalého problému nebo náhlé změny na ně ihned upozorní. Tato data by měla být z větší části transparentní, proto k nim budou mít přístup jak agendy měst, tak i občané.
- **Výsledná podoba města** (Inteligentní město, Smart City) – Vystihuje naplněné cíle a podobu Smart City.

Obrázek 6 - Rámec koncepce Smart City



Zdroj obrázku: (MMR, 2018)

### 3.2.3 Cíle udržitelnosti rozvoje dle OSN

OSN v roce 2015 představilo globální program (viz. Obrázek 7) Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, kde je stanoveno 17 cílů udržitelného rozvoje do roku 2030, na kterém spolupracovaly nejen členské státy v rámci organizace,

ale i ostatní představitelé obchodní, vědecké, sociální oblasti spolu s běžnými občany napříč celým světem. Těchto 17 cílů naprosto vystihuje cíle a pojetí konceptu Smart City, který díky tomu bude ve světě stále více propagovaný, a proto bude pro společnost přechod na tento inovativní směr udržitelného hospodářství o dost jednodušší. (OSN, 2015)

Obrázek 7 - Cíle udržitelného rozvoje dle OSN



Zdroj: (OSN, 2015)

### 3.3 Prioritní oblasti konceptu

#### 3.3.1 Čtyři úrovně a tři pilíře konceptu Smart City

V předešlé kapitole byly popsány hlavní 4 úrovně koncepce Smart City, s jejichž pomocí by mělo být jednodušší pochopit a naplánovat aktivity pro jednotlivé městské agendy.

Tyto 4 úrovně jsou dle MMČR (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR) a Slavíka (2017):

- **Organizace a plánování**
- **Komunitní život**
- **Infrastruktura**
- **Výsledná kvalita života a atraktivita města**

Dále dle Slavíka (2017) tvoří základy infrastruktury koncepce **tři hlavní pilíře**:

- **Inteligentní mobilita**

Řešení v oblasti řízení, regulace a optimalizace dopravy, zahrnující MHD (městská hromadná doprava), a dokonce i cyklisty s chodci, pomocí opatření v podobě sběru a zpracování dat přímo z dopravních prostředků spolu s ostatními senzory rozmístěnými na komunikacích, dále vytvořením strategických plánů rozvoje dopravní infrastruktury zahrnující určitá dopravní opatření za pomoci evropské metodiky Plánů udržitelné mobility SUMP2.0 (Martínek, 2021). V těchto plánech by mělo být počítáno i s rozvojem MHD, jako jsou trolejbusy, autobusy, tramvaje a jiné, v ekologických variantách pohonu (elektrické, CNG, vodík). Důležité bude přesvědčit občany, aby tyto varianty upřednostnily před vlastním vozidlem a tím plně nahradit osobní vozidla hromadnou dopravou (Slavík, 2017).

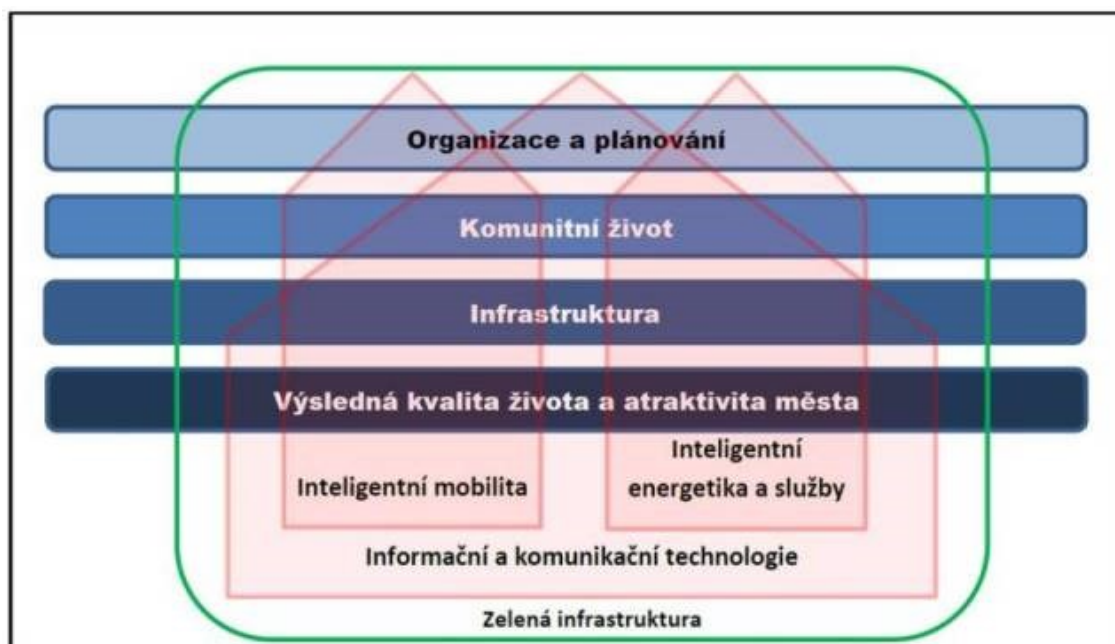
- **Inteligentní energetika a služby**

Tento pilíř spočívá v zavádění „inteligentních“ městských rozvodných sítí (Smart grid) a energeticky úsporných řešení budov za účelem efektivního hospodaření se spotřebou energií, odpady, vodou a ostatních přírodních zdrojů. Dalším důležitým aspektem tohoto pilíře je upřednostňování obnovitelných zdrojů pro výrobu energie a tepla (Slavík, 2017).

- **Informační a komunikační technologie**

Poslední pilíř souvisí s již výše popsányými pojmy kyberfyzikální systémy (CPS), internet věcí (IoT) a internet služeb (IoS), kde propojením informačních a komunikačních technologií vytvoříme systém propojující technologie s lidmi v rámci vytvořených aplikačních platforem, které budou díky internetu přístupné všem a všude. Jedná se hlavně o systémy komunikace městské správy s obyvateli, řízení městských služeb, bezpečnostní systémy, detekce a hlášení poruch infrastruktury, platební systémy (Slavík, 2017).

Obrázek 8 - 4 úrovně a 3 pilíře konceptu Smart City



Zdroj: (Slavík, 2017)

Obrázek 8 graficky znázorňuje propojení **4 úrovní** se **třemi pilíři** koncepce do jednoho celku.

Tyto tři pilíře lze dále rozdělit do 6 specifických oblastí, které do konceptu Smart City zapadají a prakticky tvoří výše zmíněné tři pilíře v jejich plném rozsahu. Proto v následujících kapitolách bude uveden popis všech těchto oblastí, o nichž většina autorů smýšlí jako o nejdůležitějších.

### 3.3.2 Smart Government – Chytrá vláda/správa

Smart Government lze představit jako řízení procesů souvisejících se státní správou a administrativou pomocí inteligentně propojených informačních a komunikačních technologií (ICT). Inteligentně propojené síťové řízení využívá možností propojených „chytrých“ objektů a kyberfyzikálních systémů pro účinné a efektivní plnění veřejných úkolů. To zahrnuje portfolio e-správy a otevřené správy, s velkými a otevřenými daty. Ve své podstatě jde o udržitelné vládní a administrativní akce ve věku internetu věcí (IoT) a internetu služeb (IoS), jehož technické základy jsou založeny na inteligentních sítích (Smart Grid), internetu lidí (IoP) a Big data. Tato definice zahrnuje místní nebo obecní úroveň, regionální nebo národní úroveň a také nadnárodní a globální úroveň. Zahrnuje tak celý

veřejný sektor skládající se ze zákonodárné, výkonné a soudní moci i veřejných podniků (Lucke, 2015).

Díky masovému nasazování senzorových zařízení během posledních dvou desítek let spolu s propojováním informačních, komunikačních a správních systémů se data stala novým „palivem“, kterým lze vytvořit nový rámec lidských interakcí a řízení města budoucnosti. To s sebou přináší nové městské a sociální výzvy včetně vytváření nebo sběru dat a správného používání těchto dat. Dolování dat, zpracování dat extrahováním nebo analýzou informací za účelem získání znalostí nemůže být prováděno na úkor bezpečnosti, soukromí nebo začlenění občanů (Euklidiadas, 2021).

Z těchto definic je patrné, že „chytré město“ nutně potřebuje „chytrou vládu“. Vláda, která je dezorganizovaná ve svém řízení, příliš uvolněná, neposlouchá své občany nebo která ignoruje etické používání digitálních nástrojů, nebo pokud jde o zastaralé technologie, může právě taková vláda vybudovat jen „hloupé“ město.

### **3.3.3 Smart Economy – Chytrá ekonomika**

Ve studii G. Tótha (Smart City, 2019) je „chytrá ekonomika“ chápána jako elektronické podnikání a elektronický obchod, zvýšená produktivita, výroba a poskytování pokročilých služeb kompatibilních s informačními technologiemi (ICT), inovace kompatibilní s informačními technologiemi (ICT) a nové produkty, služby a obchodní modely. Kromě toho vytváří inteligentní klastry a ekosystémy (např. digitální podniky a podnikání). Chytrá ekonomika podle něj znamená propojení lokálních a globálních trhů, což vede k mezinárodnímu zakotvení spolu s fyzickým a virtuálním tokem zboží, služeb a znalostí. Podle jeho studie „chytrá města“ zahrnují služby a podporu pro podnikatelské a inovační ekosystémy v rámci „chytré ekonomiky“, školicí a inkubační prostředí na podporu podnikání a produktivity, nástroje na podporu lokální a globální tržní integrace firem, ICT platformy, otevřená data, městské laboratoře a další řešení (Tóth, 2019).

Na základě těchto poznatků lze jasně říci, že chytrá ekonomika je koncepce současnosti i budoucnosti. Je to způsobeno tím, že chytrá ekonomika podporuje inovace a kreativitu, spojené s vědeckým výzkumem, špičkovými technologiemi a ochranou životního prostředí, prostřednictvím konceptu trvalé udržitelnosti, který je přínosem pro současnou i budoucí ekonomiku. S digitalizací a převratnými technologiemi, které dnes mění požadavky mnoha pracovních míst, budou muset chytrá města vyvinout strategie pro řešení pracovních míst budoucnosti, která posílí Průmysl 4.0 a chytrou ekonomiku.

Pokrok v technologiích také pomůže zefektivnit vládní postupy a poskytne podnikům bezproblémové zkušenosti.

### **3.3.4 Smart Grid – Chytré sítě**

Pojmem Grid se v terminologii energetiky označují energetické sítě, například nám všem známe elektrické sítě, charakteristické dráty a sloupy vysokého napětí. Aplikací digitálních senzorů a zařízení do těchto sítí dojde k digitalizaci dat, tím vznikne komunikační kanál, kterým probíhá oboustranná komunikace mezi řídicími datovými a transformačními centry dodavatele energií spolu s koncovými odběrnými místy neboli zákazníky. Tato obousměrná komunikace umožňuje velké množství „chytrých“ technických řešení, které zlepšují nejen kvalitu služeb koncových zákazníků, ale především mají velký potenciál v ochraně životního prostředí díky efektivnějšímu řízení spotřeby energie. Dalším velkým přínosem je efektivní řízení výroby energie z obnovitelných zdrojů, které potřebují velmi flexibilní a robustní distribuční soustavy.

„Spojující myšlenkou konceptu Smart grids je, že všechny objekty pomocí automatizovaného energetického řídicího systému vzájemně komunikují, regulují svoje energetické nároky, uskladňují nevyužitou energii (například do baterií elektromobilů) a dodávají vlastní vyprodukovanou energii do rozvodné sítě.“ (SIEMENS, 2022)

#### **Informační dálnice**

Výše zmíněná obousměrná komunikace je základem „chytrých“ sítí, díky kterým je možné ovládat proměnlivé veličiny v reálném čase. Příkladem toho řízení jsou „chytrá“ měřidla, která poskytují možnost sběru dat o spotřebě elektřiny, plynu, vody a tepla za použití pouze jednoho měřicího zařízení. Tato nasbíraná data poté okamžitě vysílají jak zákazníkovi, tak dodavateli energií, který má pak přesné informace o energetických požadavcích zákazníka a dokáže mu například navrhnout efektivnější používání spotřebičů v časech, kdy je cena elektřiny nižší. Dalšími výhodami této obousměrné komunikace mezi „chytrými“ měřidly a řídicím datovým centrem jsou automatické odečty na dálku, online přístup zákazníka k okamžitým informacím o spotřebě a v neposlední řadě také zabezpečení ve smyslu detekce případné manipulace a krádeže elektřiny.

### 3.3.5 Smart Living – Chytré bydlení

Chytré bydlení je trend zahrnující pokroky, které dávají lidem příležitost těžit z nových způsobů života. Zahrnuje originální a inovativní řešení zaměřená na to dělat život efektivnější, ovladatelnější, hospodárnější, produktivnější, integrovanější a udržitelnější. Obrázek 9 ukazuje, jak tento trend zahrnuje všechny aspekty každodenního života, od bydliště až po pracoviště, dále i způsob přepravy osob v rámci měst. Stručně řečeno, chytré bydlení zahrnuje zlepšení standardů v několika aspektech života a zároveň usiluje o lepší účinnost, hospodárnost a snížení uhlíkové stopy. Pokrok v trendu chytrého bydlení ve specifických kontextech výstavby budov znamená inovativní, rychlejší, levnější a efektivnější stavební materiály, produkty, procesy a koncepty. Tyto prvky umožňují vývoj nových typů budov, které budou lépe přizpůsobeny specifikacím a potřebám jejich obyvatel. To znamená nižší provozní náklady, snížené emise uhlíku, lepší kvalitu a delší životnost (Ates, 2019).

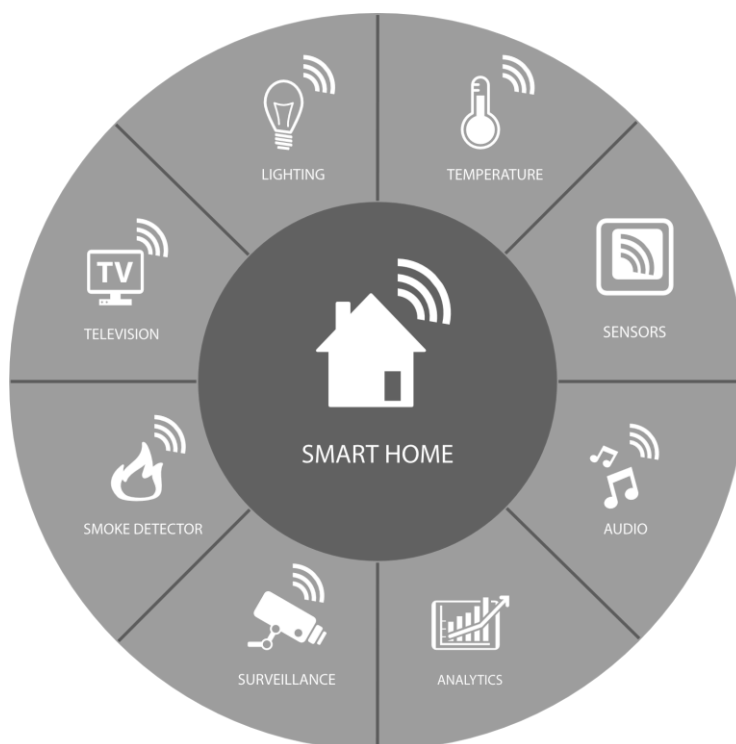
Samotný environmentální faktor vytváří stále větší část inovací vyvíjených v souvislosti s výstavbou budov. Výstavba a užívání budov je hospodářským odvětvím s vysokou uhlíkovou náročností. Jen výroba cementu je zodpovědná za 5,0 % celosvětových emisí skleníkových plynů, zatímco vytápění a spotřeba elektřiny pro obytné a komerční budovy představují 10,2 %, resp. 6,3 % celosvětových emisí  $CO_2$ .

Další aspekt chytré domácnosti souvisí s internetem věcí (IoT) a internetem služeb (IoS). V typické inteligentní domácnosti lze vytápění, osvětlení a elektrické spotřebiče pohodlně ovládat na dálku prostřednictvím smartphonu, čímž se optimalizuje spotřeba energie. Inteligentní senzory, jako jsou detektory pohybu nebo kamery, mohou detekovat pokusy o vloupání, upozornit obyvatele, rozsvítit světla a zaznamenat, co se stane. Propojené, inteligentní aplikace pomáhají starším lidem nebo lidem, kteří potřebují péči žít déle ve svých domovech tím, že odhalují nebezpečné situace a volají o pomoc nezávisle. Stručně řečeno, inteligentní bydlení zvyšuje bezpečnost a pohodlí lidí v jejich domovech a v mnoha oblastech života.

Příkladem takového „chytrého“ řešení je společnost Polysolar, která představila své průkopnické řešení, které nahrazuje standardní materiály pro fasády a obklady poloprůhlednými skleněnými panely s integrovanou fotovoltaikou. Fotovoltaické sklo je technologie, kterou vyvinula a komerčně využívá řada dodavatelů. Obvykle se však jedná o řešení šitá na míru. V případě společnosti Polysolar se jedná o tzv. levnější alternativu

k ostatním fotovoltaickým vestavěným sklům. Její výrobek je standardizovaný a není na míru jako tradiční řešení. Kromě toho je technologie představuje jedinečný průhledný materiál, který je zabudován do skla, který přináší energetickou účinnost 6-8 %, což představuje o 20 % vyšší výtěžnost než u podobných technologií (Polysolar, 2021).

Obrázek 9 - Smart Home



Zdroj obrázku: (BEESMARTCITY, 2020)

### 3.3.6 Smart People – Chytrí lidé

V rámci udržitelného a chytrého města zaujímá převládající místo sociální a lidský kapitál. Oblast Smart People zahrnuje celistvou společnost, která nabízí rovné zacházení se všemi tím, že bere v úvahu specifika jednotlivců. Prostřednictvím oblasti Smart People, tedy inovace a využívání nových technologií, směřují ke zlepšení řízení znalostí, přístupu ke vzdělání a sociálnímu kapitálu (BEESMARTCITY, 2020).

Město není chytré proto, že používá technologie. Město je chytré, protože využívá technologie ke zlepšení života svých občanů. Proto právě ti, kteří proměňují myšlenku chytrého města ve skutečnost jsou lidé, kteří ve městě žijí, kteří v něm pracují, a lidé, kteří mají naděje a sny o tom, jaké město zanechají budoucím generacím.



Proto oblast Smart People:

- Zaměřuje se na transformaci způsobu, jakým občané interagují – prostřednictvím informací nebo poskytování služeb s veřejným a soukromým sektorem, jako jsou jednotlivci nebo organizace a podniky. Vytváření sociální a digitální rovnosti prostřednictvím vzdělávacích nabídek je důležitým předpokladem pro efektivnější poskytování informací a služeb založených na nových technologiích.
- Je o chytrých formách vzdělávání, které usnadní volbu povolání, vyhledávání příležitostí na trhu práce, odbornou přípravu a také celoživotní učení pro všechny věkové a demografické skupiny. Rozvoj talentů je důležitým aspektem z hlediska ekonomického rozvoje jako stále důležitější faktor lokality.
- Chytrá řešení podporující vytváření přístupného a inkluzivního prostředí pro zvýšení prosperity a inovací ve městě nebo komunitě. Participace, otevřenost a kreativita jsou některé aspekty, které jsou umožněny nebo podporovány implementací inteligentních řešení (BEESMARTCITY, 2020).

### **3.3.7 Smart Environment – Chytré životní prostředí**

Hlavní výzvy dnešní doby jsou rostoucí hrozby změny klimatu a zmenšování zásob přírodních zdrojů. Obecně platí, že životní prostředí hraje hlavní roli ve fyzické, sociální a duševní pohodě lidí. Pochopení složitého vztahu mezi environmentálními faktory a lidským zdravím má v širším socioekonomickém, prostorovém a kulturním kontextu více cest. Každý den se v městských oblastech uvolňují do ovzduší a vody tuny a tuny škodlivých znečišťujících látek, které přímo ovlivňují životní prostředí a vedou k ekologickému narušení. Všechny tyto potenciální i aktuální problémy je důležité řešit a zajímat se o ochranu životního prostředí, na kterém staví základy koncepce Smart environment (UNECE, 2021).

Chytré senzory a zařízení, které neustále sbírají data a sledují vývoj těchto údajů v čase, umožňují významně ovlivnit příslušné aplikační oblasti jako je energetika, doprava, monitorování kvality ovzduší, sledování katastrof a mnoho dalších, což nabízí interoperabilitu a vede k udržitelnějšímu životnímu prostředí. Mezi významné výhody patří zachování ekosystémů, lepší ochrana přírodních zdrojů, zachování biologické

rozmanitosti, snížení dopadů změny klimatu a látek znečišťujících životní prostředí. Neustálý výzkum a vývoj chytrého životního prostředí je dále nezbytný pro podporu dobrého životního prostředí ve městech, vytváření odolných a dynamických komunit, umožnění mobility, budování produktivní pracovní síly a podporu sociální interakce (Kumar, 2020).

Užitky zelené infrastruktury dle Slavíka (Slavík, 2017):

- **Urbanistický**

Představuje velikost zelené plochy zahrnující veřejné parky, koridory, ostrovy ad, která je úměrná k počtu obyvatel. Tyto zelené plochy jsou naprosto nutným předpokladem zdravého života ve městě (Slavík, 2017).

- **Architektonický**

Krajinářská a estetická úprava veřejných i soukromých zelených či rozkvetlých ploch utváří celkový vzhled městských částí. Pro vytvoření příjemného místa k životu obyvatel, jako splnění jednoho z cílů konceptu Smart City, jsou takové úpravy zeleně velmi důležité (Slavík, 2017).

- **Klimatický**

Spočívá ve vytváření přírodních „slunečníků“ v podobě zeleně, a to především stromů, které nejen že vrhají stín, ale i ochlazují své okolí díky přirozenému odpařování vody, které spotřebuje značné skupenské teplo a zelená hmota absorbuje sluneční záření. Mimo ochlazování okolí dokáží rostliny zachytávat prachové částice ze vzduchu a tlumit hluk, tím přidávají na svoji důležitosti ve městech (Slavík, 2017).

- **Ekologický**

Zachování rozmanitosti zelené flóry a živočišné fauny je další nedílnou součástí udržitelnosti životního prostředí (Slavík, 2017).

### **Vztah zelené a šedé infrastruktury**

**Zelená** infrastruktura se týká přírodních systémů, včetně lesů, záplavových území, mokřadů a půdy, které poskytují další výhody pro dobré životní podmínky lidí jako je ochrana před povodněmi a regulace klimatu (McClellan, 2017).

**Šedá** infrastruktura je tradiční obecní infrastruktura, které dominuje jednoúčelové komunální inženýrství, skládající se ze silnic, mostů, železnic, potrubí a dalších sítí, které zajišťují řádné fungování průmyslové ekonomiky (McClellan, 2017).

Integrace zelené a šedé infrastruktury může pomoci naplnit potřebu řešení 21. století odolné vůči klimatu. Integrace přírody do běžných infrastrukturních systémů může produkovat nižší náklady a odolnější služby. Správně provedená kombinace zelené a šedé infrastruktury nabízí potenciál pomoci zajistit vodu, jídlo a energii rostoucí populaci, pozvednout komunity z chudoby a zmírnit změnu klimatu (Browder, 2019).

### **3.3.8 Smart Mobility – Chytrá mobilita a doprava**

Mobilita a doprava právě zažívají jednu z nejvíce razantních revolucí. Inovace v oblasti digitalizace a alternativních energií, které byly zavedeny v předchozích desetiletích, v současnosti uvolňují svůj potenciál a tvoří základy chytré mobility. Stručně řečeno, chytrá mobilita je inteligentní dopravní a mobilní síť. Chytrá mobilita představuje spojení různých prvků moderních technologií a mobility přehodnocením dopravní infrastruktury používané v každodenním životě a podnikání. To zahrnuje nejen používání tradičních motorových vozidel, elektrických vozidel a systémů veřejné dopravy, ale také zcela nové způsoby dopravy, jako jsou služby sdílení jízdy na vyžádání (například Uber) a programy sdílení automobilů (v Plzni například: Karkulka PMDP) (PMDP, 2022). Chronickým problémem měst je parkování. Dnes už existuje celá řada chytrých řešení parkování, například parkovací aplikace, které zobrazí aktuální volná parkovací místa v okolí anebo můžete skrze ně zaplatit za parkování prostřednictvím telefonu. Dalšími chytrými pomocníky s parkováním jsou pozemní či radarové senzory, jejichž úkolem je zjistit volná místa a zobrazit je například světelnou signalizací (Svitek, 2016).

Důležitým faktorem jsou změny v chování spotřebitelů, které počítají s poklesem vlastnictví soukromých automobilů spolu s nárůstem zcela nových možností mobility, což rychle změní způsob, jakým se lidé pohybují v rámci měst. Obavy ze znečištění,

dopravních zácp, ztráty produktivity a peněz způsobily, že se tato myšlenka v posledních letech prosadila v dopravním průmyslu (Bárta, Chytrá mobilita, 2016).

Koncept chytré mobility ukazuje Obrázek 10 - Koncept Smart Mobility, na kterém se chytrá mobilita skládá z různých inteligentních řešení. Řešení konceptu Smart Mobility si klade následující cíle:

- **Zlepšené dopravní sítě a systémy řízení provozu, MHD a parkování**
- **Vysoká úroveň bezpečnosti a nízká míra dopravních nehod**
- **Zvýšit efektivitu dopravy po komunikacích – zkrácení doby jízdy**
- **Snížení emisní zátěže – uhlíkové stopy (Svitek, 2016).**

Obrázek 10 - Koncept Smart Mobility



Zdroj: (Lakušić, 2018)

## 4 Vodík jako zelené palivo budoucnosti

Vodík je nejlehčí, nejjednodušší a nejrozšířenější prvek ve vesmíru, ve kterém tvoří zhruba 75% veškeré hmoty, například hvězdy jako Slunce se skládají hlavně z vodíku v plazmovém stavu. Na Zemi většina vodíku existuje v molekulárních formách jako je voda a organické sloučeniny. Za standardních podmínek je vodík bezbarvý, bez zápachu, chuti, netoxický a vysoce hořlavý a ve směsi s kyslíkem výbušný plyn. (Wikipedia, 2022).

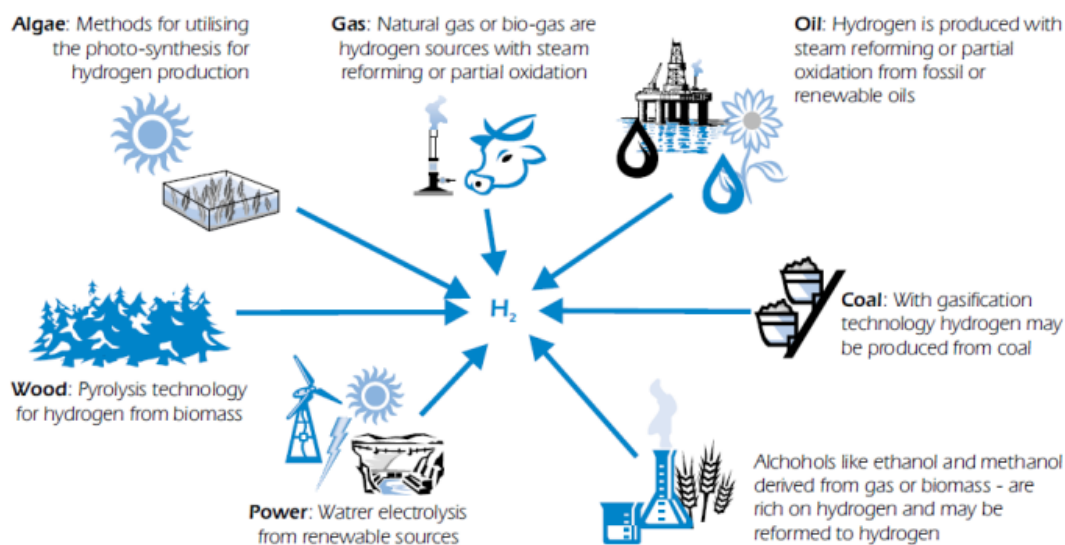
Vodík je také výborný nosič energie, který může transformovat naši ekonomiku, závislou na fosilních palivech, na vodíkovou ekonomiku. Vodík nabízí způsoby dekarbonizace řady odvětví a dokáže vyrábět, skladovat, přemísťovat a využívat energii různými způsoby. To je rozdíl oproti fosilním palivům, jejichž využití je omezené a které vypouštějí většinu současných emisí skleníkových plynů. Když vodík hoří, generuje energii ve formě tepla s vodou jako vedlejším produktem. To znamená, že energie vytvořená z vodíku nevytváří oxid uhličitý, který by přispíval k oteplování atmosféry, což z něj činí jeden z mnoha potenciálních zdrojů energie, které by mohly pomoci snížit emise uhlíku a zpomalit globální oteplování. Teoreticky je vodík palivem snů. V praxi jsou ale věci o dost složitější.

Dnes používáme elektřinu, abychom si rozsvítili, benzín nebo naftu v autech a zemní plyn k vytápění. Všechny tyto aplikace v energetice lze zajistit bezemisním vodíkem. A proto je pro naše klimatické cíle tak důležité začít přecházet na tento bezemisní nosič energie.

### 4.1 Výroba a skladování vodíkového paliva

Vodík lze získávat z různých zdrojů, kterými jsou např. voda, fosilní paliva nebo biomasa, pomocí několika metod jako jsou elektrolýza vody, parní reforming nebo vysokoteplotní štěpení vody. Jedním z důvodů, proč je vodík cenný nosič energie, jsou jeho rozmanité výrobní metody. Vzhledem k tomu, že celková energetická účinnost a potenciální dopad vodíkového hospodářství na životní prostředí závisí na jeho výrobní metodě, může být výběr správné metody obtížný úkol. Následují některé z běžnějších způsobů výroby vodíku (viz Obrázek 11). V energetickém průmyslu se na vodík odkazuje řadou barev, které ukazuje Obrázek 12, pro to, jak byl vytvořen.

Obrázek 11 - Znázornění vstupních surovin pro výrobu vodíku



Zdroj: (Biogreen, 2022)

### Černý, hnědý, šedý vodík

Šedý vodík je v současné době nejběžnější formou výroby vodíku. Šedý vodík je vytvořen ze zemního plynu nebo metanu procesem nazývaným parní reformování, ale bez zachycení skleníkových plynů. Tento proces vytváří menší množství emisí než černý nebo hnědý vodík, který používá černé nebo hnědé uhlí v procesu výroby vodíku. Černý nebo hnědý vodík je nejvíce škodlivý pro životní prostředí, protože jak  $CO_2$ , tak CO vznikající během procesu nejsou nijak zachyceny. Výroba „špatného“ vodíku z fosilních paliv je snadno dostupná forma výroby, protože nevyžaduje složitou infrastrukturu. Složitost požadovaného procesu se však liší a výrazně ovlivňuje výrobní náklady. Problémem spojeným s výrobou vodíku z fosilních paliv je  $CO_2$  jako vedlejší produkt a je potřeba uvažovat o způsobech jeho zachycení (Francesco Calise, 2019).

### Modrý vodík

Modrý vodík je vodík vyrobený ze zemního plynu procesem parního metanového reformování, kde se zemní plyn mísí s velmi horkou párou a katalyzátorem. Dochází k chemické reakci, která vytváří vodík a oxid uhelnatý. Do této směsi se přidává voda, která mění oxid uhelnatý na oxid uhličitý a více vodíku. Pokud jsou pak emise oxidu uhličitého zachyceny a uloženy pod zemí, proces je považován za uhlíkově neutrální a výsledný vodík se nazývá modrý vodík. Existuje však určitá kontroverze ohledně modrého vodíku, protože produkce zemního plynu nevyhnutelně vede k emisím metanu z takzvaných

úniků uprchlíků, což jsou úniky metanu z procesu vrtání, těžby a přepravy. Metan nevydrží v atmosféře tak dlouho jako oxid uhličitý, ale jím způsobený skleníkový efekt je mnohem výraznější. (Francesco Calise, 2019).

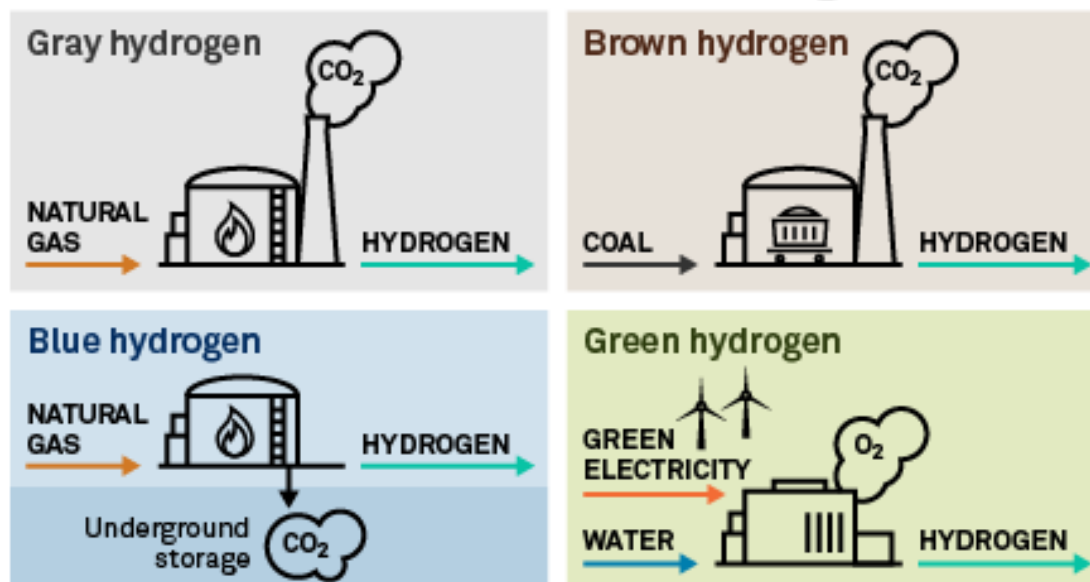
### **Zelený vodík**

Zelený vodík se vyrábí hlavně štěpením vody (tj. elektrolýzou vody) pomocí elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie. Důvodem proč se nazývá zelený je, že neexistují žádné emise  $CO_2$  při výrobě vodíku ani při jeho použití. Při použití v palivovém článku (PEM) je jediným vedlejším produktem čistá voda, která se původně používala při jeho výrobě. Obnovitelný vodík je obecně dražší než modrý vodík, i když jsou ceny stále konkurenceschopnější. Zelený vodík může také odkazovat na vodík vyrobených různými metodami s využitím jiných zdrojů jako je bioplyn, biometan, biologický odpad a další obnovitelné zdroje. Tyto metody jsou méně časté než elektrolýza vody, ale také vedou k velmi nízkým nebo nulovým emisím (Francesco Calise, 2019).

Další v současné době slibnou metodou výroby vodíku je pyrolýza. Pyrolýza je termochemická úprava, kterou lze použít na jakýkoli organický produkt (na bázi uhlíku). Lze ji provádět na čistých produktech i směsích. Při této úpravě je materiál vystaven vysoké teplotě a za nepřítomnosti kyslíku prochází chemickou a fyzikální separací na různé molekuly. Rozklad probíhá díky omezené tepelné stabilitě chemických vazeb materiálů, která umožňuje jejich rozklad pomocí tepla. Tepelný rozklad vede ke vzniku nových molekul. To umožňuje získat produkty s jiným, často lepším charakterem než původní odpad. Díky této vlastnosti se pyrolýza stává pro dnešní průmysl stále důležitějším procesem. Umožňuje totiž přinést běžným materiálům a odpadům mnohem větší hodnotu. Pyrolýza je často spojována s tepelným zpracováním, na rozdíl od spalovacích a zplyňovacích procesů, které zahrnují úplnou nebo částečnou oxidaci materiálu, je však pyrolýza založena na zahřívání za nepřítomnosti vzduchu. Jedná se tedy většinou o endotermní proces, který zajišťuje vysoký obsah energie v získaných produktech.

Obrázek 12 - Barevná paleta vodíku

# The colors of hydrogen



Zdroj obr.: (DiChristopher, 2021)

## Účinnost výroby vodíku

Celková účinnost výroby vodíku je velmi závislá na zdroji energie a technologii výroby. Pro výrobu „šedého“ chemickým štěpením zemního plynu a „hnědého“ vodíku pomocí zplyňování uhlí, se udává účinnost výroby 45-65 %, při čemž na výrobu 1 kg vodíku je zapotřebí zhruba 59 kWh elektrické energie. U výroby „modrého“ vodíku parním reformingem zemního plynu, je průměrná účinnost 72 % při spotřebě 46 kWh/kg vodíku. Současná účinnost výroby „zeleného“ vodíku se udává podobně jako u „modrého“ a to kolem 70 % se spotřebou energie 55 kWh/kg (IEA, 2019).

## Skladování vodíku

Skladování vodíku je klíčovou technologií umožňující rozvoj technologií vodíku a palivových článků v aplikacích včetně stacionární energie, přenosné energie a dopravy. Vodík má nejvyšší hmotnostní energii ze všech paliv, jeho nízká hustota za běžné teploty však vede k nízké energii na jednotku objemu, což vyžaduje vývoj pokročilých metod skladování, které mají potenciál pro vyšší hustotu energie. Vodík může být fyzicky uložen buď jako plyn, nebo kapalina. Skladování vodíku jako plynu obvykle vyžaduje vysokotlaké nádrže (tlak v nádrži 350–700 bar). Skladování vodíku jako kapaliny



vyžaduje kryogenní teploty, protože bod varu vodíku při tlaku jedné atmosféry je  $-252,8\text{ °C}$  (Knápek, 2022).

## 4.2 Bezpečnost vodíkového paliva

- Oproti běžným fosilním palivům (benzín, nafta, LPG či CNG), není vodík toxický. Únik vodíku nekontaminuje životní prostředí ani neohrozí zdraví lidí nebo volně žijících živočichů (Tae, 2021).
- Vodík je 14krát lehčí než vzduch, to znamená, že když se vodík uvolní do prostoru, bude typicky stoupat a rychle se rozptýlí, což výrazně snižuje riziko vznícení na úrovni země (Tae, 2021).
- Vodík má nižší sálavé teplo, což znamená, že vzduch kolem plamene vodíku není tak horký, proto je riziko sekundárních požárů vodíku nižší (Tae, 2021).
- Vodík má vyšší spotřebu kyslíku pro výbuch než fosilní paliva. Vodík může být výbušný při koncentracích kyslíku mezi 18 a 59 procenty, zatímco benzín může být výbušný při koncentracích kyslíku mezi 1 a 3 procenty. To znamená, že benzín má větší riziko výbuchu než vodík pro jakékoli dané prostředí s kyslíkem (Tae, 2021).

V konečném výsledku není vodík o nic méně nebo více nebezpečný než jiná hořlavá paliva včetně zemního plynu a benzinu. V některých případech se vodík od těchto uhlovodíkových paliv liší tím, že má oproti benzinu a zemnímu plynu větší bezpečnostní výhody. Stejně jako se všemi hořlavými palivy je i s vodíkem nutné zacházet zodpovědně, jinak se může za určitých podmínek chovat nebezpečně. Z tohoto důvodu je pro konstrukci bezpečných vodíkových systémů nezbytně nutné zvolit vhodné materiály.

Po letech četných testů vodíkových systémů včetně testů těsnosti nádrží, testů úniku vodíku z nádrží, simulací úniku z garáží a dalších výsledky těchto testů ukazují, že pravdou je, že toto čisté alternativní palivo lze bezpečně vyrábět, bezpečně skladovat a bezpečně vydávat.

### 4.3 Využití vodíku

Vodík je univerzální prvek, který může tvořit sloučeniny se širokou škálou dalších prvků. Například se vodík kombinuje s kyslíkem pro výrobu vody a s dusíkem pro výrobu amoniaku. Vodík se proto používá v chemickém průmyslu k výrobě dusíkatých hnojiv a v ropných rafinériích k rafinaci minerálních olejů. Nové procesy výroby zeleného vodíku, tj. vodíku zcela bez  $CO_2$ , otevírají nové možnosti využití vodíku v různých odvětvích energetického průmyslu jako inovativních alternativ šetrných ke klimatu a k pokroku v energetické revoluci.

- **Průmysl** – Vodík je široce využíván v několika chemických průmyslových odvětvích (rafinerie, výroba čpavku, chemikálie ve velkém atd.), přičemž naprostá většina se vyrábí ze zemního plynu. Další velké segmenty průmyslu nadále používají fosilní paliva a vypouštějí velké množství  $CO_2$ . Například továrny na výrobu oceli a skla využívají uhlí nebo zemní plyn a jejich přeměna na elektricky poháněné procesy není vždy možná. Naproti tomu zelený vodík může nahradit zemní plyn a přinést obrovské snížení emisí. Vodík z obnovitelných zdrojů by mohl nahradit suroviny na bázi fosilních paliv v aplikacích s vysokými emisemi. (IEA, 2019).
- **Logistika a doprava** – Elektromobily s palivovými články (FCEV) představují nízkouhlíkovou mobilitu, pokud se vodík vyrábí z obnovitelných zdrojů energie a mají jízdní výkony srovnatelné s běžnými vozidly. Vozidla FCEV doplňují bateriová elektrická vozidla (BEV) a mohou překonat některá současná omezení baterií (hmotnost, dojezd a doba tankování) v segmentech středních a vysokých provozních cyklů. Vozidla FCEV a nízkouhlíková paliva na bázi vodíku přispějí k dekarbonizaci odvětví logistiky a dopravy. Konkurenceschopnost elektrických vozidel s palivovými články však závisí na ceně palivových článků, infrastruktuře čerpacích stanic a dostupnosti nízkouhlíkového vodíku. Pro těžká a dálková vozidla, jako jsou nákladní automobily, autobusy a zemědělská vozidla, znamená vodíková technologie značnou ekologickou změnu, jelikož díky lehkému vodíku nebudou produkovat žádné emise a také ušetří na váze. Lodní doprava a letectví mají kromě paliv na bázi vodíku omezené možnosti dekarbonizace. Vodík může pomoci snížit emise v lodní dopravě a dosáhnout tak cílů v oblasti životního

prostředí. V letectví by se mohla k dekarbonizaci využívat kapalná paliva na bázi vodíku (Qubeissi, 2020).

- **Budovy** – Vodík z obnovitelných zdrojů může být do určitého podílu dodáván do stávajících sítí zemního plynu, čímž se sníží spotřeba zemního plynu a emise v odvětvích konečné spotřeby (např. potřeba tepla v budovách, plynové turbíny v energetice). Vodík lze kombinovat s oxidem uhličitým z průmyslových procesů s vysokými emisemi a dodávat do plynové sítě až 100 % syntézního plynu. Přeměna vodíku na energii skrze palivový článěk produkuje jak vodu, tak značné množství tepla, které by mohlo být v budoucnu využito i k ohřevu vody a vytápění budov. Starší budovy, ve kterých dosud nebylo instalováno elektrické vytápění, nabízejí ideální situaci pro vytápění vodíkem pomocí stávajících plynových trubek. (Kurmayer, 2021).
- **Zásoba energie** – Zelený vodík se vyrábí elektrolýzou, což je proces, při kterém je voda rozdělena na základní prvky, kyslík a vodík, pomocí elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Vzhledem k tomu, že vodík je účinným nosičem energie, může být elektrolýza použita také pro nepřímé skladování elektřiny a její následnou rekonverzi. Obnovitelné zdroje energie podléhají zejména sezónním výkyvům, neboť někdy se vyrobí více elektřiny než lze spotřebovat, a jindy je k dispozici příliš málo elektřiny. Přebytečná elektřina může být přeměněna na vodík pomocí elektrolýzy a uložena ve skladovacích jeskyních. Když je pak potřeba více elektřiny, může být uložený vodík kombinován s kyslíkem v palivovém článku jako součást procesu reverzní elektrolýzy, který generuje velké množství energie. Tato energie pak může být přiváděna zpět do elektrické sítě. Vodík tak nabízí řešení pro dlouhodobé skladování elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie. Alternativně může být uložený vodík také přeměněn na metan a vodu přidáním  $\text{CO}_2$  a přiváděn do infrastruktury zemního plynu namísto toho vytěženého (EWE, 2021).

## 5 Vodíková tramvaj

V praktické části této diplomové práce bude představen inovativní projekt vodíkem poháněné tramvaje. Na tomto projektu se podílí plzeňská Škoda Transportation (Obrázek 13) spolu s několika dalšími dodavateli technologií a čínské město Fo-šan, které se již několik let snaží vydobýt si pověst lídra ve využívání vodíku, jako ekologického zdroje energie s nulovými emisemi  $CO_2$  a ostatních skleníkových plynů.

### 5.1 Škoda Transportation a.s.

Obrázek 13 - Logo Škoda



Zdroj obr.: (Škoda, 2022)

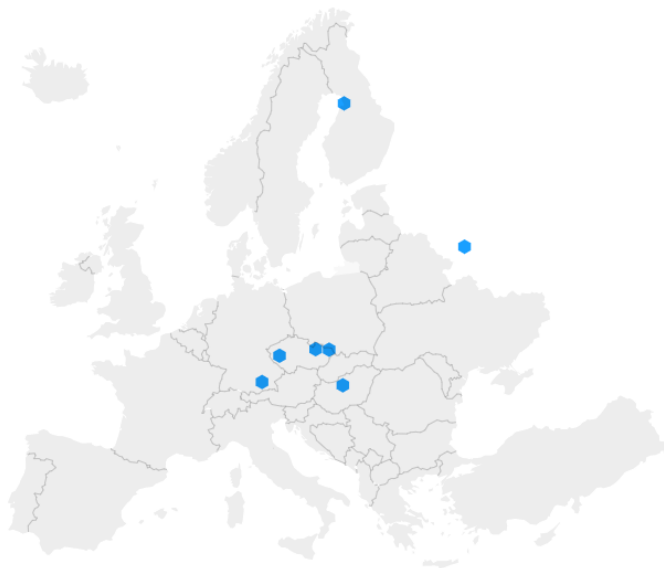
Škoda Transportation a.s. je tradiční česká strojírenská společnost s více jak 160letou historií, za kterou si dokázala vybudovat přední pozici nejen mezi evropskými výrobci železniční a městské dopravy. Škoda Transportation vyrábí a servisuje vozy hromadné dopravy, od vlaků, lokomotiv, přes metra, tramvaje, trolejbusy či autobusy. Od roku 2018 patří, i s ostatními dceřinými společnostmi Škoda Electric, Škoda Vagonka či Škoda Pars, pod skupinu PPF. Hlavní výrobní podniky Škoda vlastní na území Česka, a to v Plzni, Ostravě a Šumperku. Mimo Českou republiku, Škoda Transportation rozšiřuje své světové působení a má své podniky i v ostatních evropských zemích jako jsou Německo, Finsko, Maďarsko, a dokonce i v Rusku. V současnosti Škoda Transportation zaměstnává v rámci všech českých a zahraničních podniků dohromady zhruba 5600 zaměstnanců a stále nabírá nové talenty do neustále se rozšiřující výroby a vývoje nových produktů (FinMag, 2021).

Miliardové investice do výrobních kapacit, interního výzkumu a vývoje a digitalizace v kombinaci s odbornými znalostmi a zkušenostmi tisíců jejích zaměstnanců povýšily plzeňskou Škodu Transportation a.s. na přední místo na mezinárodním trhu moderní veřejné dopravy (PPF, 2022).

*„Dopravní prostředky ze Škody Transportation jsou ekologické, jezdí výhradně na elektřinu a neprodukují emise.“ (PPF, 2022)*

Obrázek 14 - – Lokace evropských podniku skupiny Škoda Transportation a.s.

**[Podniky Skupiny Škoda Transportation a.s.]**



Zdroj obr.: Vlastní zpracování (2022)

Cílem Škoda Transportation jsou ekologická řešení mobility, která budou po celou dobu své životnosti produkovat nulové či mizivé množství  $CO_2$  emisí. V rámci udržitelnosti řešení mobility je také kladen důraz na používání recyklovatelných a přírodních materiálů. Tyto cíle ekologické a udržitelné mobility úzce souvisí s celosvětovými strategiemi, například v rámci EU je to plán udržitelného hospodářství **Green Deal** (EU, 2021). Ten má za cíl snížit emise  $CO_2$  a ostatních skleníkových plynů do roku 2030 o 55 %, jedním z hlavních prvků, který v současnosti tvoří zhruba 25 % emisí skleníkových plynů, je právě doprava.

V rámci své strategie Škoda Transportation každoročně investuje stovky milionů korun do výzkumu a vývoje vlastního ekologického řešení dopravy, které neustále zlepšuje jak po stránce technické, tak i technologické, kdy se snaží o co nejefektivnější energetickou účinnost pohonů a dopravy, snižování hluku a vibrací, cestovní komfort, snižování emisí

skleníkových plynů a ekologickým nakládáním s výrobky po ukončení jejich životnosti. Výsledkem toho jsou i mimo jiné bateriové a hybridní pohony, které mají do budoucna velký význam ve snižování emisí a dekarbonizace dopravy tím, že by měly postupně nahradit dopravní prostředky se spalovacími motory.

### 5.1.1 TriHyBus

První český vodíkem poháněný autobus poprvé vyjel v roce 2009 v Neratovicích. Autobus vyrobila plzeňská Škoda Electric a.s. a o vývoj nejen celého pohonu, ale i celého projektu se postaral Ústav jaderného výzkumu (ÚJV). Výsledný TriHyBus měl velmi zajímavě řešený trojitě hybridní pohon, který energii z vodíku přeměňoval na elektrický proud skrze membránový palivový článek a poháněl tím elektromotor za pomoci akumulátorů a ultrakapacitorů. Jedná se tedy vlastně o elektrobus, který používá pro dobíjení baterií (akumulátorů) vodík (ÚJV, 2009).

V současné době nabízí Škoda Transportation a.s. autobusy s elektrickým pohonem, které jsou poháněny palivovými články nebo bateriemi, podobně jako zmíněný TriHyBus, jen se znatelně modernější technologií (ŠKODA, 2022).

„ŠKODA H'CITY posiluje náš závazek k vývoji dopravních řešení šetrných k životnímu prostředí a doplňuje portfolio ekologických autobusů ŠKODA E'CITY. Autobusy s elektrickým pohonem poháněné bateriemi nebo palivovými články se stávají opěrnými pilíři bezemisní udržitelné mobility (ŠKODA, 2022).“

Obrázek 15 - ŠKODA H'CITY



Zdroj: (ŠKODA, 2022)

## 5.2 Projekt: Vodíkové tramvaje pro město Fo-šan

### 5.2.1 Město Fo-šan a vodík

Čínské město Fo-šan v provincii Guangdong nacházející se na jihu Číny (Obrázek 16), s populací téměř 8 milionů obyvatel, je jedním z největších měst v oblasti označované jako Greater Bay Area. Fo-šan je rychle rostoucí město se silným průmyslovým a technologickým základem, které se rozhodlo aktivně řešit průmyslovou transformaci a klimatické změny ve městě pomocí nejslibnějších technologií s nulovými emisemi skleníkových plynů. Baterie a vodík jsou dvě z nejslibnějších technologií s nulovými emisemi. (FOSHAN, 2021)

Obrázek 16 - Mapa umístění města Fo-šan



Zdroj: (Maphill, 2011)

V souladu se strategií čínské vlády pro nová energetická vozidla a národním cílem dosáhnout uhlíkové neutrality do roku 2060 investuje vláda Fo-šan do rozvoje vodíkového energetického průmyslu. Zaměřili se nejprve na veřejnou dopravu, dodávkové vozy a osobní vozidla s palivovými články. Je to proto, že Fo-šan uznává jejich roli v energetických inovacích a urychlení průmyslové transformace.

#### Cíle projektu:

- Vývoj a uvedení do provozu vodíkové tramvaje
- Snížení emisí  $CO_2$  a ostatních skleníkových plynů
- Rozvoj vodíkové ekonomiky

## **Strategický plán rozvoje vodíkové ekonomiky města Fo-šan - 4 fáze:**

- **Fáze 1** (2018-2020) - použití vozidel (autobusy, tramvaje, logistická vozidla) s vodíkovými palivovými články a souvisejících produktů, přičemž vozidla a vodík jsou dodávány převážně externě (Yujie Xue, 2021).
- **Fáze 2** (2021-2025) - další rozvoj vodíkové energie a klíčových technologií souvisejících s vozidly s palivovými články. Výrobní technologie se rovněž zaměří na podporu velkovýroby produktů palivových článků (Yujie Xue, 2021).
- **Fáze 3** (2026-2030) – expanze trhu s vodíkem prostřednictvím diverzifikace výroby vodíku a technologického rozvoje produktů na vysoké úrovni. V důsledku toho by vodíkové energetické produkty byly široce použitelné pro osobní automobily a další oblasti (Yujie Xue, 2021).
- **Fáze 4** (2030 a dál) - poslední fázi je vodíkové hospodářství a společnost. V tomto okamžiku je řetězec vodíkového energetického průmyslu dokončen s místní výrobou a skladováním vodíku. Je vytvořena síť vodíkové dopravy, čerpacích stanic a podpůrných zařízení a plně se formuje trh s užitkovými vozidly, osobními automobily, speciálními vozidly a domácnostmi (Yujie Xue, 2021).

### **5.2.2 Konstrukce a pohon tramvaje**

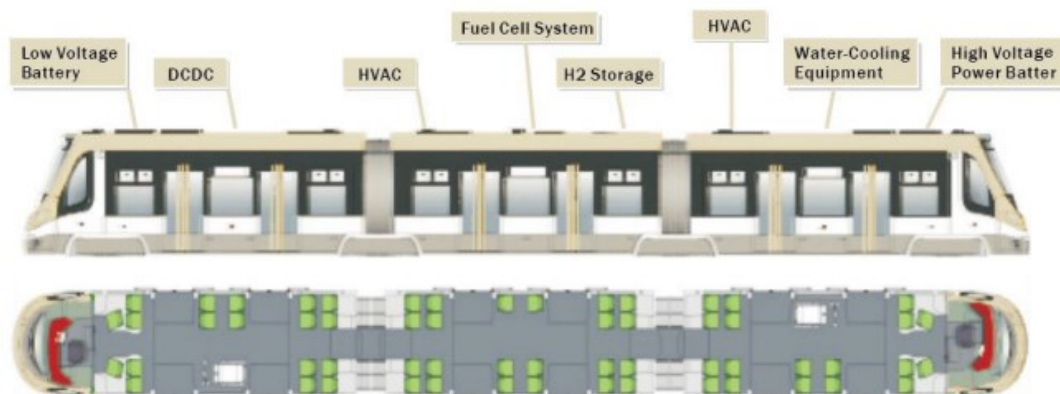
Jak již bylo výše vysvětleno, koncepce Smart City je o hledání a realizování inovativních projektů, které mají vyřešit konkrétní problémy, týkající se rychle se rozvíjejících měst. Městská mobilita je popisována jako životní míza moderních měst, kritický ekonomický faktor a zprostředkovatel inteligentního a udržitelného rozvoje. Plánování Smart City, které poskytuje efektivní a spravedlivá řešení městské mobility, je jedním z nejnaléhavějších problémů měst po celém světě. Inteligentní města musí poskytovat účinná inteligentní řešení veřejné dopravy a zároveň podporovat inovace, usnadňovat ekosystém spolupráce a plnit cíle udržitelnosti. Tyto urbanistické výzvy jsou součástí rychle se měnící krajiny a městské mobility. Strategie pro řešení problémů městské mobility a jejich řešení jsou pro každé město jedinečné. Výše popsany projekt čínského města Fo-šan je jedním z mnoha takových řešení.

Aby se Fo-šan zmocnil vedoucí pozice ve vodíkové ekonomice v Číně, realizoval mnoho vodíkových projektů. Snad nejznámější z nich je předváděcí linka moderní vodíkové tramvaje Fo-šan Gaoming, první komerční tramvajová trať na světě poháněná palivovými



články. V roce 2012 započala spolupráce plzeňské Škody Transportation a čínského železničního výrobce CRRC Qindao Sifrang na projektu vodíkové tramvaje. Následující rok byly dodány technologie výroby pro tramvaje Škoda 15T ForCity Alfa a platformy 26T, 28T ForCity Classic, spolu s dohodnutými smlouvami na společném vývoji prototypu testovací série tříčlánkové tramvaje typu 27T (Tůma, 2015).

Obrázek 17 - Nákres nové tramvaje 27T



Zdroj obr.: (Ballard Power Systems, 2019)

Vyvíjený prototyp tramvaje 27T, jehož nákres lze vidět na Obrázek 17, staví své základy právě na výše uvedených platformách 26T a 28T ForCity Classic a 15T ForCity Alfa, která již od roku 2011 slouží obyvatelům Prahy. Tříčlánková, 100% nízkopodlažní 27T má čtyři plně otočné podvozky s nezávisle zavěšenými koly s přímým pohonem, který má na starosti 16 synchronních trakčních motorů s permanentními magnety od dceřiné Škody Electric, dohromady s výkonem 720 kW (Elhota, 2016).

Tramvaj, jejíž fotografie je na obrázku Obrázek 18, byla upravena na délku 35 190 milimetrů a je široká 2 650 milimetrů, což je nárůst oproti pražské tramvaji zhruba 4 metry na délku a zhruba 20 centimetrů na šířku. Oproti tomu byla dle čínských standardů tramvaj snížena o 9 centimetrů. Další změnou jsou řídicí kabiny na obou koncích tramvaje, díky tomu umožňuje konstrukce dvousměrný provoz. Vnitřní prostor tramvaje pojme dohromady téměř 400 cestujících, kdy pro 60 z nich jsou místa k sezení a pro zbylých zhruba 320 lidí (při hustotě 8 cestujících/ $m^2$ ) je dostatek místa k stání (Tůma, 2015). Tramvaj také úspěšně splnila bezpečnostními požadavky na kolizní odolnost kolejových vozidel a splňuje normu EN 15227 (ČSN, 2021).

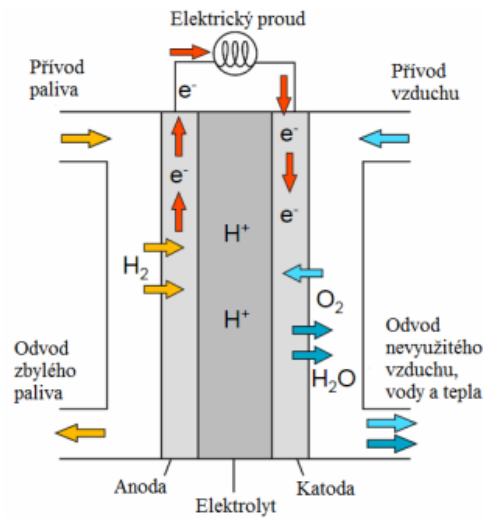
Obrázek 18 - Prototyp vodíkové tramvaje



Zdroj obrázku: (Group, 2017)

Tramvaj je poháněná v hybridní konfiguraci, kde na pohonu spolupracují velkokapacitní lithiium-titanové baterie a dva palivové články FCvelocity-XD od společnosti Ballard, které poskytují dohromady výkon až 200 kW a s garantovanou životností 20 000 hodin provozu. Palivový článek je zařízení, které generuje elektřinu elektrochemickou reakcí, nikoli spalováním. V palivovém článku se vodík a kyslík kombinují za účelem výroby elektřiny, tepla a vody. Palivový článek se skládá z anody, katody a elektrolytové membrány. Typický palivový článek, jehož základní obecné schéma ukazuje Obrázek 19, funguje tak, že prochází vodík anodou palivového článku a kyslík katodou. V místě anody katalyzátor rozdělí molekuly vodíku na elektrony a protony. Protony procházejí porézní elektrolytovou membránou, zatímco elektrony jsou tlačeny obvodem, generují elektrický proud a přebytečné teplo. Na katodě se protony, elektrony a kyslík spojují a vytvářejí molekuly vody.

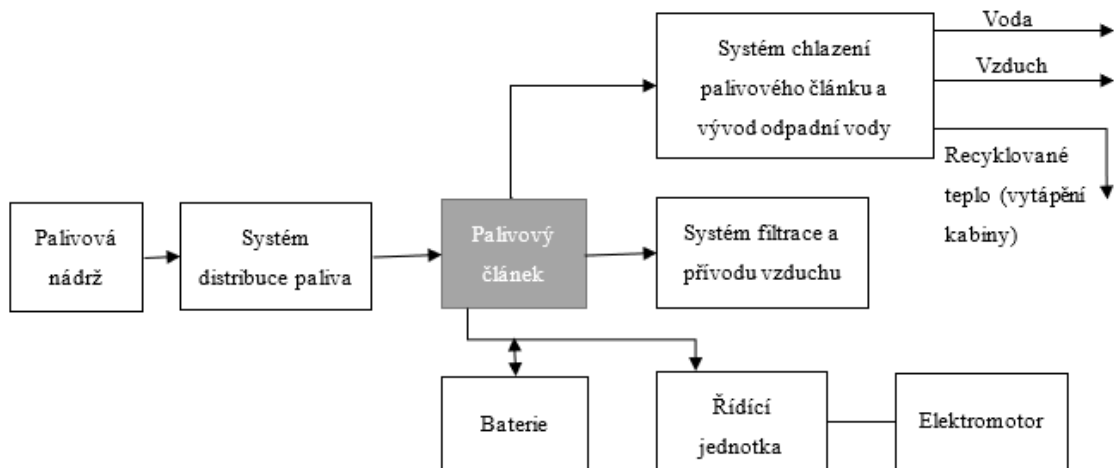
Obrázek 19 - Schéma obecné funkce vodíkového palivového článku



Zdroj obr.: (Wikipedia, 2021)

Systém palivových článků se skládá ze zásobníku a pomocných systémů. Jak je vidět níže na Obrázek 20, je palivový článek hlavní součástí, která přeměňuje chemickou energii na elektrickou a pohání tak vozidlo. Kromě palivové soustavy existují v palivovém článku také čtyři pomocné systémy: systém dodávky vodíku, systém dodávky vzduchu, systém hospodaření s vodou a systém hospodaření s teplem. Systém dodávky vodíku přenáší vodík z nádrže do zásobníků palivového článku.

Obrázek 20 - Princip fungování vozidla s palivovým článkem



Zdroj: Vlastní zpracování (2022)

Vodík je uložen v šesti palivových nádržích na střešním prostoru tramvaje, které dohromady pojmu 35 kilogramů paliva při tlaku 350 barů (35 MPa). Tyto palivové nádrže přepraví dostatek paliva pro pokrytí provozních požadavků na více než 13 hodin denně (viz. Tabulka 1 - Souhrnné konstrukční informace tramvaje).

Systém přívodu vzduchu, který se skládá ze vzduchového filtru, vzduchového kompresoru a zvlhčovačů, dodává do systému kyslík. O regulaci teploty palivových článků, která kvůli účinnosti nesmí přesáhnout teplotu 150°C, se stará inovativní automatický chladicí systém (Ballard, 2017). Systémy regulace teploty palivového článku s oddělenými vodními a vzduchovými chladicími smyčkami slouží k eliminaci odpadního tepla a vody. Prostřednictvím systému regulace teploty se teplo z palivového článku dle potřeby odebírá k vytápění kabiny vozidla a tím zvyšuje účinnosti vozidla.

Elektrická energie vyrobená systémem palivových článků jde přes řídicí jednotku výkonu do elektromotorů, přičemž v případě potřeby jí pomáhá baterie, která poskytuje dodatečný výkon.

Tramvaj 27T tedy neprodukuje žádné emise, jedinými vedlejšími produkty provozu jsou čistá voda a teplý vzduch. Vzhledem k tomu, že neexistují žádné pohyblivé části, palivové články pracují tiše a s extrémně vysokou spolehlivostí.

Tabulka 1 - Souhrnné konstrukční informace tramvaje

<b>Konfigurace</b>	2 lokomotivy 1 středový díl	<b>Maximální kapacita cestujících</b>	380 lidí	<b>Provozní denní doba</b>	13 hodin
<b>Rozměry vozidla</b>	35,19m x 2,65m x 3.58m	<b>Maximální rychlost</b>	70 km/h	<b>Tankování paliva</b>	2–3krát/den
<b>Celková hmotnost</b>	55 tun	<b>Maximální dojezd</b>	125 km	<b>Doba tankování paliva</b>	15 minut

Zdroj: Vlastní zpracování (2022)

### 5.2.3 Čerpací stanice

Stanice pro doplňování vodíku na obrázek 21 - Plnicí stanice pro tramvaje se nachází v depu Zhihu, poblíž poslední zastávky tramvajové linky. Depo se rozkládá na ploše 8 779  $m^2$  a jeho součástí je i středisko řízení provozu a středisko údržby. Vodíková čerpací stanice je provozována společností Guangdong Guolian Hydrogen Energy a má denní kapacitu 1000 kilogramů vodíku. V současné době je stanice vybavena dvěma soupravami 144 kilogramových zásobníků vodíku ( $5m^3$ , pod tlakem 45MPa) a dvěma 355 dlouhými trubkovými návěsy ( $26m^3$ , pod tlakem 20MPa) a může obsluhovat maximálně dvě tramvaje najednou. Plány budoucího rozšíření poskytnou kapacitu pro tankování až tří tramvají najednou. Doplnění paliva do šesti 35MPa 140 litrových vodíkových lahví vodíkové tramvaje trvá pouhých patnáct minut. To poskytuje **27 kilogramů vodíku**, což stačí na **dojezd 125 kilometrů**. Spotřeba vodíku se tedy pohybuje v rozmezí **25-30 kg/100 km**. Tramvaje mohou vyjet z vozovny a zastavit u čerpací stanice před běžným provozem do městské oblasti, kdy je potřeba natankovat. Vodík je přepravován z plynu Jiangmen Linkye ve městě Jiangmen do okresu Gaoming ve městě Fo-šan cisternovými vozy. Tramvaje se do vozovny vrací po ukončení provozu v noci. Servisní pracovníci pak provádějí rutinní kontroly a údržbu, aby zajistili, že tramvaje jsou v dobrém a bezpečném stavu pro provoz následující den.

Obrázek 21 - Plnicí stanice pro tramvaje

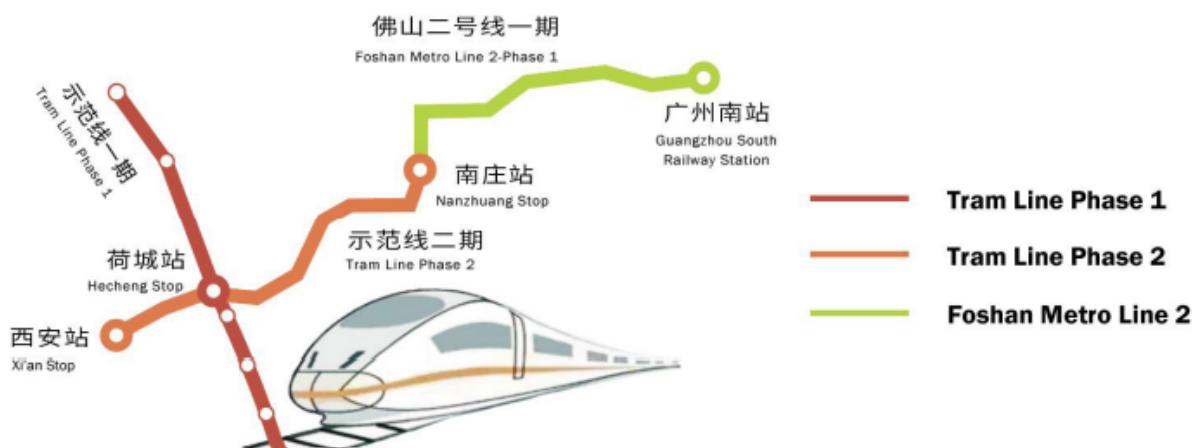


Zdroj obr.: (China, 2019)

## 5.2.4 Trasa tramvaje

Tramvajová trať na západním břehu řeky Xijiang se skládá ze dvou fází (viz. Obrázek 22 - Plán trasy tramvajový linek). Po dokončení bude linka sestávat z 20 zastávek na 17,4 kilometru. Fáze 1 je 6,6 kilometru dlouhá, s 10 zastávkami. Začíná na Cangjiang Road Station v centru města, cestuje po Zhongshan Road a Hefu Street a končí v Zhihu v Xijiang New City. Fáze 1 zahájila komerční provoz v prosinci 2019. Fáze 2 prodlouží linku metra Fo-šan 2 a spojí ji s železniční stanicí Guangzhou South velkým novým uzlem obsluhujícím vysokorychlostní železniční síť. Tramvajová linka spojuje autobusová nádraží, velké obytné komunity, administrativní centra, obchodní centra, parky a továrny (FOSHAN, 2021).

Obrázek 22 - Plán trasy tramvajový linek



Zdroj obr.: (Ballard Power Systems, 2019)



### 5.2.5 První jízda nové vodíkové tramvaje

První vodíková tramvaj byla na místo dodána v červenci 2019. V prosinci 2019 byla tramvajová linka Fo-šan Gaoming oficiálně v provozu a dostupná pro veřejné cestující. V současnosti po první lince jezdí 4 tramvaje. Tým projektového managementu pod vedením Fo-šan Metro plánuje provoz 3 dalších tramvajů ve špičce s odjezdy každých 10 minut a 115 odjezdy denně. Proto je dohodnuto vyrobit další tři vodíkové tramvaje do roku 2023. Všechny tramvaje mají stejnou konstrukci, skládají se ze tří vozových skříní s celkovou přepravní kapacitou 380 osob, maximální rychlostí 70 kilometrů v hodině a dojezdem cca 125 kilometrů na jedno natankování. Na Obrázek 23 je fotografie finální podoby vodíkové tramvaje, jejíž barvu popisuje město Fo-šan jako Champagne.

Obrázek 23 - Finální podoba vodíkové tramvaje



Zdroj obr.: (Foshan, 2019)

Ve výstavbě je i druhá tramvajová linka, která v současnosti není zcela dokončena. Pro tuto linku se očekává, že do příštího roku bude uvedeno do provozu osm nových tramvajů využívajících vodíkové palivové články.

## 6 Ekonomické hodnocení projektu dle metody CBA

Tato kapitola se zabývá hodnocením inovativního projektu světově první vodíkové tramvaje pro město Fo-šan pomocí analýzy nákladů a přínosů (*cost-benefit analysis, CBA*), která slouží zejména k hodnocení projektů veřejných služeb. První část kapitoly se věnuje teorickému představení tohoto metodického nástroje hodnocení projektů. V druhé části je provedena ekonomická analýza projektu spolu s ekologickým hlediskem, kde jsou pro porovnání zahrnuty možné alternativní technologie pohonu tramvaje.

### 6.1 Analýza přínosů a nákladů

Analýza nákladů a přínosů (CBA) je důležitým nástrojem pro hodnocení investičních projektů, zvláště užitečný je při analyzování veřejně prospěšných projektů. CBA poskytuje přehled o účincích, rizicích a nejistotách projektů a z nich vyplývajících nákladech a přínosech pro společnost jako celek. Tím, že tyto výhody a nevýhody co nejvíce kvantifikuje a přiřazuje jim hodnoty (v penězích), poskytuje CBA pohled na dopady opatření na sociální zabezpečení vyjádřené jako zůstatek přínosů mínus náklady v penězích. Tato rovnováha také odráží náklady a přínosy dopadů na ty aspekty sociálního blahobytu, pro které neexistuje tržní cena jako je příroda, kvalita ovzduší, bezpečnost a zdraví obyvatelstva, kulturní dědictví a sociální soudržnost. Efekty ve finančním vyjádření v maximální možné míře je umožňuje porovnávat a prezentovat výsledky ve snadno srozumitelné formě, kterou lze použít ke zvážení pro a proti opatření. To umožňuje odpovědět na otázku, zda ekonomické a sociální náklady na opatření převažují nad ekonomickými a sociálními přínosy. CBA nehodnotí míru, do jaké různé skupiny ve společnosti pocítují náklady nebo přínosy opatření, ale může odhalit a popsat tyto související efekty. CBA analýza zpravidla staví na již předem zpracované studii proveditelnosti, ve které je detailně popsána technologická a organizační stránka projektu nebo je její součástí (Slavík, 2017).



## **6.2 Struktura CBA**

Jak již bylo výše zmíněno, analýza CBA je metodický nástroj sloužící k hodnocení a posuzování vhodnosti investičních projektů. Pro správné zpracování je důležité postupovat dle logické posloupnosti počínaje definováním účelu a cílů projektu s následným vymezením nákladů a přínosů. (MMČR, 2015)

### **6.2.1 Definování projektu a identifikace zainteresovaných skupin**

Prvním krokem CBA je definování a popis konkrétního projektu, kde je jasně vymezena společenská potřeba a popis konkrétního problému. Významnou částí je také vymezení všech zainteresovaných objektů či skupin, které mají na samotný projekt vliv nebo kterých se přímo týkají dopady řešení projektu. Vybraný projekt by měl být tedy jeho řešením, nicméně je prvotně důležité jej důkladně zhodnotit, jelikož ne každý projekt, který je již připravený nebo ten zajímavý, musí být nutně nejlepším řešením daného problému (Slavík, 2017).

### **6.2.2 Vymezení významných nákladů a přínosů**

Podstata CBA analýzy je vymezení hlavních a vedlejších nákladů projektu spolu s přínosy, které jsou spjaty s realizací projektu. Způsob identifikace a vymezení těchto nákladů a přínosů projektu je založen na principu kauzality, kde každá akce má nějaký následek. Všechny identifikované náklady a přínosy je poté vhodné rozčlenit na položky peněžně ocenitelné a neocenitelné. Díky tomuto vymezení nákladů a přínosů projektu lze provést následnou kvantifikaci dopadů na cílové skupiny v různých socioekonomických úrovních (od globální až po jednotlivce). (MMČR, 2015)

### **6.2.3 Rámec ukazatelů efektivity a dopadů projektu**

Sestavení seznamu ukazatelů efektivity a dopadů realizovaného projektu je další důležitou součástí CBA analýzy. Každý projekt je jedinečný svým rozsahem a dopady na dané cílové skupiny, proto pokud to charakter projektu spolu se stanovenými náklady a přínosy dovolí, měli by být všechny ukazatele efektivity a dopady zaneseny do rámce či seznamu pro jejich pozdější zhodnocení. (MMČR, 2015)

#### **6.2.4 Identifikace a analýza rizika**

Každý projekt má určitá rizika, která mohou buďto komplikovat samotnou realizaci projektu nebo ovlivňovat jeho výsledek. V analýze CBA je nutno tato rizika identifikovat a analyzovat jejich dopady na výše zmíněné náklady a přínosy. (MMČR, 2015)

#### **6.2.5 Závěrečné shrnutí**

Posledním krokem analýzy nákladů a přínosů je souhrn veškerých předcházejících kroků, kde jsou jasně vytyčeny všechny náklady a přínosy projektu spolu s jeho dopady. Výsledek tohoto finálního zhodnocení je buďto rozhodnutí o realizaci projektu, či reálné zhodnocení již realizovaného projektu. (MMČR, 2015)

### **6.3 Vlastní ekonomická analýza**

V následujících podkapitolách bude ekonomicky analyzován projekt vodíkové tramvaje dle metodiky CBA, popsané v předešlých kapitolách.

#### **6.3.1 Definování cílů projektu**

S populací kolem 8 milionů, je Fo-šan jedním z největších měst v oblasti Greater Bay Area. Fo-šan je rychle rostoucí město. Baterie a vodík jsou dvě z nejslibnějších technologií s nulovými emisemi. V souladu se strategií čínské vlády pro nová energetická vozidla a národním cílem dosáhnout uhlíkové neutrality do roku 2060 investuje vláda Fo-šanu do rozvoje ekonomiky vodíkového energetického průmyslu. Zaměřili se nejprve na veřejnou dopravu, dodávkové vozy a osobní vozidla s palivovými články. Je to proto, že Fo-šan uznává jejich roli v energetických inovacích a urychlení průmyslové transformace. V roce 2012 započala spolupráce Fo-šanu s plzeňskou Škodou Transportation na vývoji a výzkumu vodíkem poháněné tramvaje, která měla být první svého druhu na světě.

Cílem tohoto projektu bylo tedy vyvinout a vyrobit vodíkem poháněnou tramvaj, která by měla nahradit prostředky veřejné dopravy se spalovacími motory a tím přispět ke snížení emisí uhlíkových plynů a jiných škodlivých látek ve městě Fo-šan. Dalším významným cílem tohoto projektu bylo si vybudovat celosvětovou prestiž v oblasti vývoje vodíkem poháněné mobility.

### **6.3.2 Identifikace zainteresovaných skupin**

#### **Primární účastníci projektu:**

- Čínská vláda – zákazník projektu
- Vedení města Fo-šan – zákazník projektu
- Škoda Transportation a.s. – český dodavatel technologických komponent a podílející se na vývoji tramvaje
- Ballard Power Systems – kanadský dodavatel palivových článků
- CRRC Qindao Sifang – výroba tramvaje na území Číny

#### **Sekundární účastníci projektu:**

- Obyvatelé města Fo-šan
- Obyvatelé přilehlých měst a obcí
- Turisti

### **6.3.3 Analýza nákladů projektu**

V této kapitole bude provedena ekonomická analýza projektu v jeho hlavních nákladových položkách týkajících se převážně provozních nákladů. Veškeré informace ohledně nákladů na vývoj a výzkum tramvaje jsou velmi důvěrné a společnost Škoda je nemůže nijak poskytnout nebo zveřejnit. Následující ekonomická analýza proto bude sloužit spíše jako stručné srovnání této inovativní technologie s aktuálně používanými způsoby řešení městské tramvajové dopravy.

#### **Identifikované náklady:**

- Náklady na stavbu železniční tratě
- Pořizovací náklady tramvaje
- Náklady na výrobu vodíku
- Náklady na distribuci paliva/energie
- Náklady na servis a výměnu komponent palivového článku

## Náklady na stavbu železniční tratě

Počáteční investice ve výši 760 milionů jüanů (zhruba 3 miliardy Kč) byla vynaložena na stavbu první tramvajové linky Fáze I, která je dlouhá 6,6 kilometrů. Druhá tramvajová linka Fáze II vedoucí od východu na západ lokality, která se nakonec napojí na linku metra, je ve výstavbě a bude takřka třikrát delší než první linka, a sice v délce 17,4 kilometrů. Plánované náklady na výstavbu druhé linky spolu s počtem obsluhujících tramvají jsou prozatím důvěrné, jelikož je město Fo-šan a ani Škoda nechtějí zveřejnit.

## Pořizovací náklady tramvaje

Náklady na vývoj a výzkum tohoto projektu jsou obchodním tajemstvím, které Škoda Transportation a vláda města Fo-šan nechtějí zveřejnovat. Jediný poskytnutý údaj o přibližných nákladech je zhruba 1,1 miliardy korun.

Přesná cena inovativní tramvaje s označením 27T je bohužel také tajemství, nicméně její odhadovaná cena je dle portálu Seetao (Seetao, 2021) zhruba 66 000 000 Kč. Pro lepší nákladové srovnání byly vybrány další dva typy tramvajových vozidel s podobnou konstrukcí, ale rozdílnou technologií zdroje energie pohonu, které jsou v nabídce plzeňské Škody. Srovnání pořizovacích cen vybraných tramvají je v tTabulka 2.

Tabulka 2 - Ceny současně nabízených tramvají Škody Ttransportation

Označení	27T	ForCity Smart 40T	ForCity Classic Konya
Zdroj energie pohonu	Stlačený vodík	Trakční vedení	Trakční vedení + baterie
Cena	66 000 000 Kč	59 000 000 Kč	67 000 000 Kč

Zdroj: (Škoda, 2022)

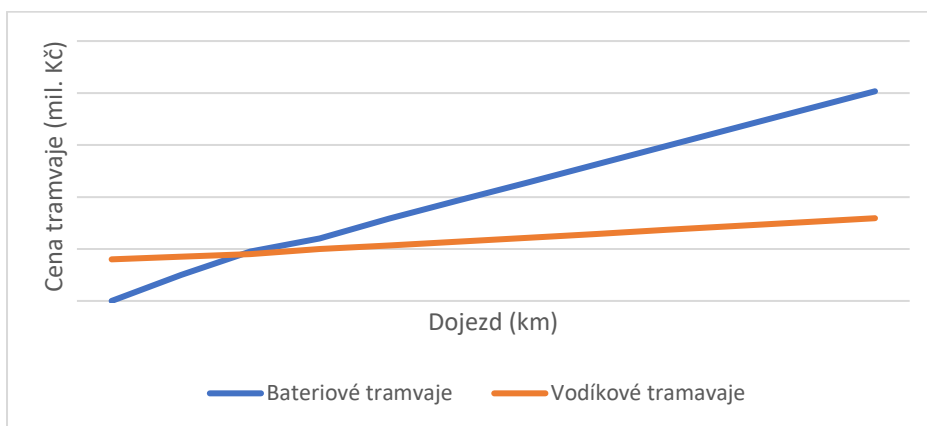
Tramvaje s označením 40T jsou v současnosti možné k vidění v Plzni, kde vozí obyvatele Plzně od konce roku 2021 v rámci zkušebního provozu na lince č.4. Konstrukčně je velmi podobná tramvaji 27T, skládá se ze tří článků v obousměrném a nízkopodlažním provedení. Podobně je na tom druhá srovnávaná alternativa bateriová Konya. Bateriové tramvaje ForCity Classic jsou řešením pro místa, kde trolejové vedení chybí či není vyžadováno. Taková místa najdeme například v historických centrech měst, a právě pro takové krátké úseky v řádech několika kilometrů, pohání tramvaje energie z baterií,

které se poté nabíjí na úsecích tratě, kde je trakční vedení. Ze srovnání v tabulce 2 je patrné, že aplikace baterií v tramvajích jejich cenu razantně zvýší v řádech milionů oproti použití pouze „jednoduchého“ trakčního vedení.

FCEV (elektrické vozidlo s palivovým článkem) a BEV (bateriové elektrické vozidlo) tramvaje jsou takzvaně „bezdrátové“, jelikož nepotřebují být permanentně připojené na zdroj energie pomocí „měděného“ kabelu. Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma technologiemi je ve zdroji energie. BEV tramvaje oproti FCEV využívají veškerou energii z bateriových jednotek, které po vybití musí dlouho dobíjet. Proto jsou nejvhodnější na krátké vzdálenosti jak kvůli dobíjení baterií, tak kvůli jejich ceně a hmotnosti. Ceny bateriových jednotek se dnes, dle výsledků průzkumu trhu společnosti BloombergNEF, pohybují okolo 137 dolarů na kWh, což je v přepočtu 3100 Kč/kWh (BloombergNEF, 2020). V současnosti tvoří zhruba třetinu pořizovací ceny většiny elektromobility právě bateriové jednotky.

FCEV tramvaje mají také baterie, jelikož palivový článek nedokáže vygenerovat dostatek energie pro dynamické ježdění. To v případě tramvajů znamená, že pro rozjed je zapotřebí pomoci baterií, které ale nemají tak velkou kapacitu, aby na ně mohla tramvaj samostatně jezdit. Teoreticky mají BEV vyšší energetickou účinnost, ale velká hmotnost baterie tuto výhodu minimalizuje, zejména u těžkých nákladních vozidel na dlouhé vzdálenosti. BEV musí přidat kapacitu baterie na každý další kilometr, který by vozidlo mělo najet, což zvyšuje hmotnost. Odhaduje se, že například model BEV nákladního vozidla Tesla dosáhne hmotnosti baterie 4,5 tuny. FCEV na druhé straně netrpí stejným problémem, protože množství přepravovaného vodíku přidává ve srovnání s vozidlem mnohem menší hmotnost. To je způsobeno tím, že vodík má mnohem vyšší specifickou energetickou hustotu – asi 120 MJ/kg ve srovnání s 5 MJ/kg u baterií. FCEV tramvaje jsou tedy díky jejich zdroji energie a palivových nádržích z uhlíkového vlákna velmi lehké, jsou velmi vhodné pro, jakkoliv dlouhé trasy, zvláště výhodné se jeví pro dálkové spoje. Studie ekonomické proveditelnosti společnosti Hyundai (Hyundai Motor Company, 2020) toto tvrzení potvrzují. V Graf 1 lze vidět, že náklady na FCEV tramvaje rostou pomaleji vzhledem k potřebnému dojezdu.

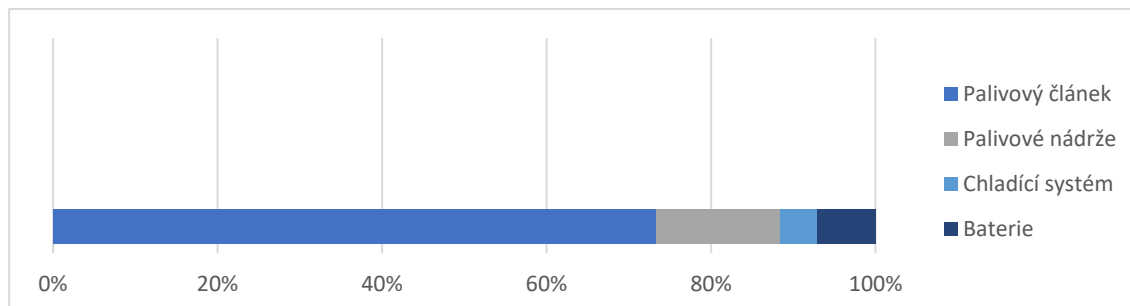
Graf 1 - Ceny FCEV a BEV tramvají dle dojezdu



Zdroj: vlastní zpracování (2022)

FCEV tramvaje mají dle výsledků studie Deloitte (Deloitte, 2020) počáteční náklady na vozidlo nejvyšší v porovnání s BEV a trolejovým vedením. Důvodem jsou vysoké náklady celého energetického modulu. Palivový článek, jehož cena se dnes pohybuje okolo 34 tis. Kč/kW, tvoří zhruba 73 % z těchto nákladů. Zbylé komponenty nákladů na energetický modul jsou zobrazeny v níže sestrojeném Graf 2.

Graf 2 - Rozdělení nákladů FCEV energetického modulu dle komponent



Zdroj: Vlastní zpracování (2022)

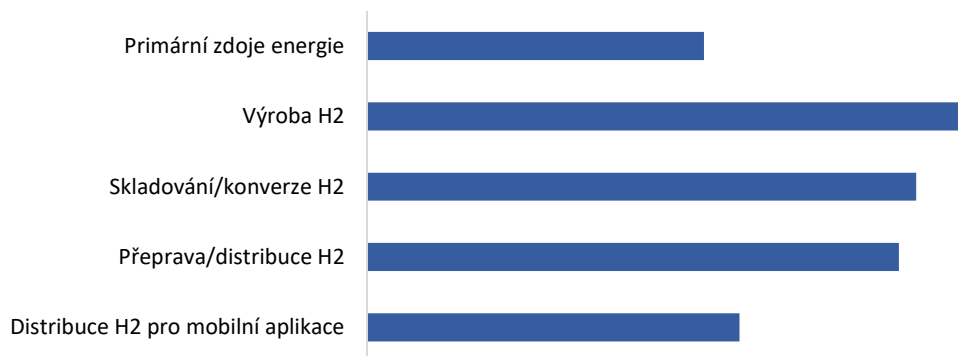
Pokud bychom chtěli porovnat pořizovací náklady na vozidla mezi technologiemi FCEV a BEV dle čínského trhu, zjistíme, že dnes díky vysoké ceně vodíkového energetického modulu přijdou FCEV tramvaje výrazně draž. Nicméně, tyto pořizovací náklady neustále klesají díky rozsáhlému výzkumu a vývoji FCEV palivových článků. Výsledkem tohoto neustálého procesu budou čím dál tím levnější, výkonnější a efektivnější palivové články s delší životností, která je už dnes garantována na zhruba 25 000 hodin provozu. Velkým aspektem snižování nákladů jsou také úspory z rozsahu ve smyslu velkovýroby FCEV tramvají a celkově FCEV vozidel, které značně zlevní takřka všechny potřebné komponenty.

## Náklady na výrobu vodíkového paliva

Dnes většina vodíku pochází z fosilních paliv (modrý, šedý a hnědý vodík). Pro výrobu vodíku s nižšími emisemi  $CO_2$  existují dvě primární možnosti buď elektrolýzou s využitím elektřiny z obnovitelných zdrojů, nebo reformováním zemního plynu a zplyňováním uhlí spolu se zachycováním a ukládáním  $CO_2$ . V současné době brání přijetí vodíkového paliva vysoké výrobní náklady na vodík s nižším obsahem uhlíku, například ve Velké Británii a Nizozemsku jsou ceny mezi 330 až 416 Kč za kg „zeleného“ vodíku v porovnání s 146 až 238 Kč za kilogram modrého vodíku. Zhruba méně než 5 % celosvětově vyprodukovaného objemu vodíku dnes pochází z obnovitelných zdrojů. Neustálé snižování nákladů na výrobu obnovitelné energie a vývoj zachytávání a ukládání  $CO_2$  (CCS) nyní dláždí cestu pro rostoucí počet nízkoemisní vodíkové výroby. Například v oblasti výroby vodíku z obnovitelných zdrojů již bylo z Norska oznámeno celkem více než 1 GW kapacity elektrolyzéry (Burgess, 2021), což je ohromující 50násobný nárůst ve srovnání s technologiemi v roce 2015.

Cena vodíku se v jednotlivých regionech výrazně liší, protože silně závisí na cenách a dostupnosti energetických vstupů. Nejdůležitějším nákladem jsou ceny elektřiny, která je hnacím motorem takřka všech způsobů výroby vodíku spolu s energetickou účinností a využitím kapacity technologií výroby vodíku. Dalším významným faktorem, ovlivňujícím výrobní náklady vodíku, je jeho transport a distribuce. Dle statistik platformy Hydrogen Valley, je vytvořen hodnotový řetězec v Graf 3, který ukazuje poměr velikosti nákladů mezi činnostmi v celém procesu výroby a distribuce vodíku (H2V, 2022).

Graf 3 - Hodnotový řetězec výroby vodíku



Zdroj: (H2V, 2022)

K výrobě modrého vodíku z parního reformingu zemního plynu spolu s CSS potřebují společnosti přístup k levnému zemnímu plynu, jako je tomu například v Rusku nebo USA, kde jsou ceny plynu nižší než 66 Kč (KurzyCZ, 2022) na milion britských tepelných jednotek (MMBtu) a rozsáhlé skladování  $CO_2$ . Nízkoemisní výroba vodíku z reformingu zemního plynu spolu s CCS je tedy nejvíce atraktivní v regionech s levným zemním plynem. Při dostatečném rozsahu by dle studie společnosti Aurora (Aurora, 2022) náklady na výrobu modrého vodíku mohly do roku 2030 v regionech jako USA nebo na Středním východě klesnout na přibližně 50 Kč za kg. Aurora uvádí, že nevěří, že zelený vodík bude v tomto desetiletí levnější než modrý, alespoň ne bez dotací. Ostatní analytici se na tvorbu cen dívají z dlouhodobějšího hlediska a uvádí "referenční náklady" na výrobu modrého vodíku v Evropě na 60–66 Kč/kg, což vychází z prognóz cen plynu z října 2021. Zelené vodíkové elektrárny, v Evropě poháněné větrnou a solární energií na pevnině (takové, které nečerpají energii ze sítě), by nebyly schopny překonat tato čísla až do roku 2030. Jiní analytici zase dospěli k závěru, že náklady na zelený vodík by mohly do roku 2030 klesnout na úroveň 50 Kč/kg, ale dodávají, že jejich vlastní analýzy pro referenční hodnoty nákladů výroby vodíku jsou pro Evropu optimistické. Pro regiony s vyššími průměrnými náklady na zemní plyn, jako je Evropa, analytici dle svých prognóz uvádí, že by mohl modrý vodík z reformingu zemního plynu v roce 2025 stát přibližně 100 Kč za kg, tato cena by mohla v roce 2030 klesnout na přibližně 75 Kč kvůli nižším nákladům na CSS.

Pro obnovitelný „zelený“ vodík z elektrolýzy je rozhodujícím faktorem přístup k levným obnovitelným zdrojům. S klesajícími náklady na solární fotovoltaickou a větrnou energii se výroba elektrolyzérů spolu s obnovitelnými zdroji energie může stát nízkonákladovou možností dodávek vodíku, a to i po zohlednění nákladů na přenos a distribuci vodíku ze vzdálených míst ke koncovým uživatelům. Patagonie, Nový Zéland, severní Afrika, Střední východ, Mongolsko, Austrálie a části Číny a USA jsou lokality s dobrým potenciálem pro výrobu zeleného vodíku. Například v severní Evropě jsou obvykle oblasti s příznivými podmínkami pro obnovitelné zdroje, jako jsou hlavně silné větry proudící od oceánu. To umožňuje vyrábět vodík s nižšími než průměrnými náklady. Výběr místa pro výrobu zeleného vodíku má tedy velmi zásadní vliv na jeho cenu. Náklady na zelený vodík vyrobený z pobřežních větrných elektráren v Evropě začínají v roce 2022 na přibližně 180 Kč za kg. Očekává se, že tato míra klesne do roku 2030 přibližně o 60 % na přibližně 72 Kč za kg, a to v důsledku levnější výroby elektrolyzérů,



větších systémů komprese a uskladnění, distribuce vodíku a levnějších technologií pro obnovitelné zdroje energie.

Čína je v současnosti největším producentem vodíku na světě, roční produkce generující až 20 milionů tun vodíku představuje přibližně jednu třetinu celosvětové produkce. Převládající výrobní metodou je však v současnosti metoda parního metanového reformingu na bázi uhlí, přičemž metody elektrolýzy na výrobu zeleného vodíku zabírají pouze 3 % jeho produkce. Výroba vodíku z uhlí zůstává v Číně nejdostupnější možností, je o 30 % levnější než reforming zemního plynu. Vodík v Číně vyrábí více než 1000 reformátory po celé zemi, které představují 5 % celkové čínské spotřeby uhlí. Současné náklady na výrobu vodíku klesly z 80 jüanů na 40 jüanů za kilogram vodíku, což je v přepočtu 140 Kč a očekává se, že v dlouhodobém horizontu se bude cena pohybovat v rozmezí 88 Kč (25 jüanů) za kilogram vodíku.

Abychom mohli porovnat ceny energií z vodíku a elektrické sítě, je důležité sjednotit energetické veličiny, které ukazuje Obrázek 24.

Obrázek 24 - Převod jednotek

$$1 \text{ kg H}_2 = 11.1 \text{ m}^3 \text{ H}_2 (0 \text{ }^\circ\text{C}, 1 \text{ bar})$$

$$1 \text{ kg H}_2 = 33.3 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ kg H}_2 = 120.1 \text{ MJ}$$

Zdroj: Vlastní zpracování (2022)

Z výše uvedených cen jsou známé ceny vodíku, tedy v Číně je to 140 Kč/kg. Ceny energie závisí na řadě různých podmínek nabídky a poptávky včetně geopolitické situace, vnitrostátní skladby zdrojů energie, diverzifikace dovozu, nákladů na síť, nákladů na ochranu životního prostředí, nepříznivých povětrnostních podmínek nebo úrovně spotřební daně a zdanění. Cena elektřiny (dle statistik na konci roku 2021) v Číně zahrnující všechny složky účtu za elektřinu, jako jsou náklady na elektřinu, distribuce a daně, se v současnosti pohybuje v rozmezí 1,949 - 2,207 Kč za kWh. Pro srovnání, průměrná cena elektřiny ve světě je zhruba 2,861 - 3,073 Kč za kWh (GlobalPetrolPrices, 2021).

Tabulka 3 - Průměrné náklady spotřeby energie na km

Technologie pohonu	Průměrná spotřeba energie na - 1 km	Cena za jednotku energie	Výsledná cena provozu na km
FCEV	0,25-0,3 kg/km	140 Kč/kg	35-42 Kč/km
BEV / Trolej	2,7-5 kWh/km	1,949-2,207 Kč/kWh	5,26-11 Kč/km

Zdroj: Vlastní zpracování (2022)

Tabulka 3 - Průměrné náklady spotřeby energie na km ukazuje porovnání průměrných nákladů spotřeby energie na km dle technologie pohonu tramvají. V přepočtu to tedy znamená, že vodík jako palivo pro mobilitu, je v Číně **až sedmkrát dražší** než energie z distribuční sítě.

### Náklady na distribuci vodíku

Náklady na vodíkové palivo a náklady na infrastrukturu jsou dvě významné složky provozních nákladů, které v současnosti tvoří více než 50 % těchto nákladů. Vodíkové čerpací stanice jsou klíčovými stavebními kameny infrastruktury vodíkové dopravy. V současné době je tato technologie v počáteční fázi svého rozvoje na trhu, který charakterizuje obnovitelné energetické systémy, proto jsou investiční náklady na výstavbu v řádech desítek milionů korun. V každém případě je zapotřebí efektivní infrastruktura, aby byla tato energie k dispozici. Čerpací stanice mohou poskytovat vodíkové palivo pro vozidla mnoha různými způsoby. Stanice mohou být například navrženy tak, aby produkovaly vodík na místě nebo aby měly vodíkové palivo dodávané z centralizovaných výrobních závodů v kapalně nebo plynné formě. Ve městě Fo-šan v současnosti slouží 34 čerpacích stanic.

Většina dnešních tramvají čerpá elektrickou energii z trakčního vedení. Elektrifikace je však drahá, a i když je ospravedlnitelná na silně využívaných tratích, v mnoha scénářích není instalace vysokonapěťové kabeláže nad kolejemi dosažitelná kvůli fyzické logistice linky (nízké tunely nebo silně zastavěné oblasti). Existují i další problémy včetně vizuálního dopadu trakčního vedení a stožárů nebo riziko narušení provozu vlivem přerušení dodávek elektrické energie. Železniční síť spotřebovává významnou část celkových dodávek elektřiny během ranních a večerních špiček. Materiální náklady jsou

také významným faktorem, jelikož kabelování vlakové trati pro elektrifikaci stojí přibližně 25 milionů Kč za kilometr. Existují tedy silné ekonomické a urbanistické důvody pro nahrazení trakčního vedení vodíkovým pohonem. Samozřejmě to platí i pro vlaky, kde každá železnice, která není v současné době kabelována, je potenciálním cílem pro budoucí nahrazení buď BEV, nebo FCEV vozidlem.

### **Náklady na servis a údržbu komponent pohonného systému**

Pro servis a údržbu hnacího ústrojí FCH jsou klíčové tyto komponenty:

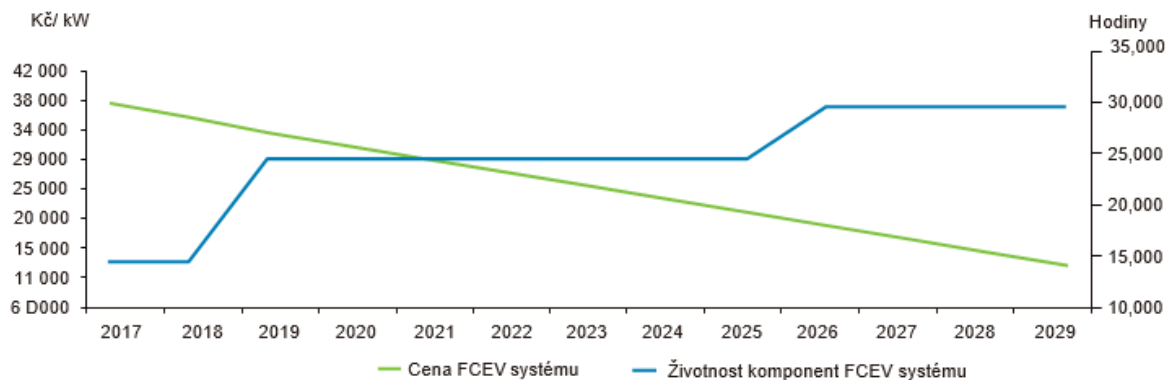
- Palivový článek – PEM
- Lithium-iontová trakční baterie
- Palivová nádrž

Každá z těchto komponent má individuální požadavky na údržbu a budou se muset testovat, opravovat a vyměňovat v různě dlouhých intervalech. Odborníci uvádějí, že z dlouhodobého hlediska bude mít FCH technologie nižší požadavky a náklady na údržbu a výměnu komponent. Důvodem je dlouhá životnost a stále nižší výrobní náklady. Cena palivového článku, jak již bylo výše uvedeno, se v současnosti pohybuje okolo 34tis. Kč/kW, což by dle odhadů expertů z Deloitte (Deloitte, 2020) mělo do roku 2026 klesnout na hodnoty okolo 14tis. Kč/kW, to je pokles o 60 %. Vysokou pořizovací cenu palivového článku tvoří z větší části technologická složitost procesu výroby, oproti relativně levným materiálům, ze kterých je konstruován. Kromě toho se také očekává, že se v budoucnu značně zlepší životní cyklus systémů palivových článků. V současné době je životnost systému palivových článků přibližně 25 000 hodin provozu, ale předpokládá se, že bude dosahovat 30 000 hodin do roku 2026. Kombinací těchto dvou faktorů dohromady budou FCEV ovlivněny nejen snížením pořizovacích nákladů, ale také nákladů na údržbu a výměnu dílů, jak ukazuje Graf 4.

Pro palivové nádrže je odhadovaná životnost na 5000 naplnění (při tlaku 350 – 400bar). Jejich údržba bude založena na pravidelném testování integrity, jelikož ji opakovaná komprese a dekomprese postupně ovlivňuje. Lithium-iontové trakční baterie je osvědčená technologie, která vydrží mnoho let. Výrobci garantují životnost v řádech let, většinou kolem 5-10 let plného provozu. Jak lze vidět, vodíkem poháněná elektromobilita je z pohledu nákladů na servis a údržbu velmi výhodná, jelikož většina komponent má od výrobců garantováno mnoho let nepřetržitého provozu. U vodíkem poháněných vozidel

je také výhodou stabilnější dojezd. Na rozdíl od bateriových elektromobilů dojezd v zimě klesá.

Graf 4 - Predikce vývoje cen systémů palivových článků a souvisejících nákladů na výměnu dílů



Zdroj: (Deloitte, 2020)

#### 6.4 Bariery pro nasazení FCH tramvají/vozidel

Vozidla na vodíkové palivové články byla testována po celém světě a samotný vývoj technologií se posunul za fázi ověřování koncepce. Aby však bylo možné úspěšně uplatnit technologii vodíku a palivových článků v sektoru veřejné hromadné dopravy, který připravuje komerční zavádění ve větším měřítku, je stále třeba překonat několik technologických a netechnologických překážek. K dosažení tohoto cíle vede intenzivní výzkum a vývoj a investice do inovací ze strany vládních a regulačních subjektů a dodavatelů technologií. Dodatečné dotace by mohly být potenciálně klíčové pro další vývoj technologií kvůli vysokým nákladům spojeným s prototypy vozidel a novou distribuční infrastrukturou. Technologická řešení musí dozrát a náklady na straně dodávky vodíku i na straně FCEV palivového systému je třeba snížit.

##### Technologické bariéry:

- návrh a konstrukce/design
- systém skladování vodíku
- bateriové systémy
- servis a údržba
- čerpací stanice/distribuční infrastruktura

##### Netechnologické bariéry:

- bezpečnost
- právní/regulační normy
- politická podpora
- ekonomické/finanční
- environmentální/sociální

## 6.5 Přínosy projektu

### Technické hledisko

- Tímto projektem se dosáhlo velikého technologického úspěchu, jelikož tramvajová linka v městě Fo-šan je první čínská a zároveň první komerčně provozovaná vodíková tramvajová linka na světě.
- Výsledkem tohoto projektu vznikla unikátní konstrukce tramvaje, kterou lze osadit třemi typy „beztrolejového“ pohonu: palivový článek, trakční baterie a superkapacitory
- Nejen pro potřeby tohoto projektu byla vybudována infrastruktura výroby a distribuce (transport a čerpací stanice) vodíku

### Ekonomické hledisko

- Tímto a také všemi realizovanými projekty týkajícími se výroby a distribuce vodíku, spolu s vodíkem poháněnou mobilitou, si Čína vybuďovala silnou mezinárodní pozici v tomto vodíkovém odvětví.
- Díky spolupráci Škody Transportation a čínského města Fo-šan se plzeňské společnosti otevřela cesta k čínskému trhu, který má velký potenciál.
- Použitím vodíkové technologie odpadla nutnost vybudování velmi nákladné a nevhledné elektrické trakční sítě.

### Ekologické hledisko

- Obyvatelé města jsou ušetřeni o určitou část skleníkových plynů a ostatních škodlivých látek, které tramvaj díky FCEV nevy pouští. Jedinou odpadní látkou je pouze čistá voda.
- Kvalita ovzduší ve Fo-šanu se dle průzkumu společnosti IQAir (IQAir, 2022) zlepšila, protože množství jemných prachových částic menších než 2,5 mikrometru se v prvních šesti měsících roku 2021 snížilo téměř o čtvrtinu na 26 miligramů na metr krychlový oproti roku 2018, tedy roku před zavedením elektrických autobusů a tramvajů. Koncentrace oxidu dusičitého klesla o 16 %, a koncentrace oxidu siřičitého dokonce o 30 %.

- Každá tuna vodíku použitého v dopravě může nahradit spotřebu ropy ve výši 3,4 tuny, to znamená značný potenciál s razantním snížením emisí  $CO_2$  v silniční a kolejové dopravě.

## 6.6 Zhodnocení inovačního projektu

Fo-šan je průkopnickým městem v oblasti vodíku, zejména pokud jde o rozsáhlé komerční nasazení vozidel na vodíkové palivo. Bylo prvním městem, které zavedlo plán rozvoje vodíkového pohonu a čínská vláda poskytuje silné pobídky. Ve Fo-šanu byla vytvořena vedoucí skupina na vysoké úrovni, která má tři hlavní průmyslové základny pro vodíkovou energii a sdružuje více než 90 podniků a vědeckých a technologických inovačních platforem souvisejících s vodíkem. Nástup vodíkové tramvaje zavedl novou aplikaci technologie palivových článků a učinil z Číny první zemi na světě, která tuto technologii pro tramvaje aplikovala. Provoz tramvají není jen milníkem pro samotný projekt, ale také velkým krokem vpřed pro vodíkové palivové články v čínském železničním sektoru. Poskytuje cenné zkušenosti z reálného světa a referenční bod pro aplikaci budoucích vodíkových kolejnic. Provoz této tramvajové linky poháněné zelenou technologií je prvním krokem na cestě do éry vodíkového pohonu s ekologickými a ekonomickými výhodami. Jako největší znečišťovatel na světě si Čína možná vysloužila pověst velkého zlého vlka emisí skleníkových plynů. Projekt, jehož instalace v první fázi stála 1,07 miliardy jüanů (3,72 miliardy Kč), je ukázkou schopnosti a odhodlání Číny vsadit na technologické úsilí na cestě k dosažení maximálního snížení emisí  $CO_2$  do roku 2030 a uhlíkové neutrality do roku 2060. Systém je čistší než tramvaje poháněné z rozvodné sítě, protože většina čínské elektřiny se vyrábí z uhlí, jehož uhlíková stopa je dvakrát vyšší než u výroby modrého vodíku.

Vládní a průmyslové subjekty po celém světě v posledních letech zvýšily úsilí o výrobu modrého, a hlavně zeleného vodíku s nulovými emisemi uhlíku produkovaného elektrolýzou vody poháněné elektřinou z obnovitelných zdrojů energie. Nadcházející desetiletí bude vývojovým závodem mezi vodíkem a všemi ostatními dlouhodobými technologiemi, aby se zjistilo, kdo může snížit náklady a prokázat proveditelnost ve velkém měřítku.

## 7 Závěr

Koncepce „Smart City“ je v dnešní době stále velmi mladá a relativně neznámá, ačkoliv se dle ní již několik let plánují a řídí města po celém světě. Pro přiblížení této koncepce bylo tedy nutné vymezit a popsat oblasti, které jsou uvedeny v této diplomové práci.

Vymezil jsem pojem inovace a určil jejich členění a řízení (management).

Dále jsem vysvětlil pojem „Průmysl 4.0.“ a shrnul průběh předchozích průmyslových či vědeckých revolucí. Zaměřil jsem se na jednotlivé komponenty Průmyslu 4.0 a oblasti, jejichž společným jmenovatelem je internet – současná nedílná součást každodenního života – a právě díky němu a inovativním řešením je dnes možné propojení doslova „všeho se vším“.

Zaměřil jsem se na koncept „Smart City“, sloužící primárně městům pro strategické plánování a implementaci moderních technologií za účelem efektivnějšího řízení městských agend, komunikace s obyvateli, hospodaření s energiemi a odpadem, hromadné dopravy a mobility jako takové, a jeho oblasti. Je zde kladen velký environmentální důraz ve vztahu „zelené“ a „šedé“ infrastruktury, pro vytváření příjemného života obyvatel a s tím i výhodného prostoru s potenciálem pro podnikání.

Poslední část své diplomové práce jsem věnoval vodíku jako čisté energii, která má potenciál razantně snížit celosvětové emise  $CO_2$  a tím zpomalit globální oteplování. Popsal jsem současné zdroje a technologie výroby vodíku spolu s jejich energetickou účinností. Dále jsem zmínil bezpečnost skladování a manipulace s vodíkem, kde je zjevné, že navzdory obavám není vodík více nebezpečný než běžná fosilní paliva. Velkým přínosem této bezemisní energie je její široké použití od průmyslu, přes mobilitu až po domácnost, kde nabízí plynulý provoz bez znečišťujících odpadních látek.

Zaměřil jsem se na využití vodíku ve veřejné dopravě, a to konkrétně v projektu světově první vodíkem poháněné tramvaji. V tomto projektu, na kterém se podílela Škoda Transportation, bylo cílem vyvinout a uvést do provozu vodíkovou tramvaj, snížit emise  $CO_2$  a rozvinout vodíkovou ekonomiku. Pro zhodnocení projektu vodíkové tramvaje jsem použil analýzu nákladů a přínosů (neboli CBA analýzu), která se používá pro hodnocení veřejných projektů.

Projekt, jehož první instalovaná část stála téměř 4 miliardy korun, je ukázkou odhodlání Číny vsadit na technologické úsilí na cestě země k snížení emisí  $CO_2$ .

Nicméně je produkce vodíku v Číně stále z největší části vyráběna z uhlí tzv. zplyňováním, které vypouští do ovzduší značné množství  $CO_2$  a je nutné se zaměřit na podporu „modrého“ a zvláště „zeleného“ vodíku. Zkoumal jsem náklady na výrobu vodíku v rámci Číny i celého světa. Z výsledků je patrné, že vodíkové palivo je dnes velmi nákladné a je možné říci, že je až nevýhodné pro komerční použití v porovnání s cenami energií z elektráren.

Z analýzy nákladů na distribuci energie, kde jsem srovnával čerpací vodíkové stanice s trakčním vedením vzešlo zajímavé zjištění, že v případě neexistujícího či špatně dostupného trakčního vedení, se jeví vodík jako méně nákladná varianta.

Poslední analyzovanou nákladovou položkou byly náklady na servis a výměnu komponent pohonného systému, které jsou v současnosti velmi drahé, ale nabízí dlouhou životnost spolu s jednoduchou údržbou. Z dlouhodobého hlediska by měly však náklady na výrobu vodíku a komponent pohonného systému značně klesat, díky rozsáhlé výrobě a zlepšování technologií.



## Citovaná literatura

- API. (2022). *Inovace*. Načteno z API: <https://www.e-api.cz/24887-jednotlive-metody-a-nastroje-i-p>
- Ates, M. (2019). *The Role of Smart City Solutions on the Road to Smart Territories: Smart Solutions to Urbanization Problems*.
- Aurora. (22. 2 2022). *GREEN HYDROGEN PRODUCTION AT 2 EUR/KG IN EUROPE REQUIRES SIGNIFICANT COST REDUCTIONS; 3 EUR/KG IS MORE REALISTIC OVER THE NEXT TWO DECADES*. Načteno z Aurora energy research: <https://auroraer.com/media/green-hydrogen-production-at-2-eur-kg-in-europe/>
- Ballard. (2017). *Fuel Cells for Rail Applications*. Načteno z Ballard: [https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/default\\_images/5.%20Oben%20Ulc\\_H2%20Rail%20Workshop%2015.05.2017%20%28ID%202902212%29.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/default_images/5.%20Oben%20Ulc_H2%20Rail%20Workshop%2015.05.2017%20%28ID%202902212%29.pdf)
- Ballard Power Systems, I. (2019). World's First Fuel . Kanada.
- Bárta, D. (22. 3 2015). *Metodika Konceptu inteligentních měst*. Načteno z MMRČR: [http://www.mmr.cz/getmedia/b6b19c98-5b08-48bd-bb99-756194f6531d/TB930MMR001\\_Metodika-konceptu-Inteligentnich-mest-2015.pdf](http://www.mmr.cz/getmedia/b6b19c98-5b08-48bd-bb99-756194f6531d/TB930MMR001_Metodika-konceptu-Inteligentnich-mest-2015.pdf)
- Bárta, D. (2016). *Chytrá mobilita*. Načteno z sc magazine: [https://www.scmagazine.cz/casopis/00-16-00-16/chytra-mobilita\\_locale\\_cs](https://www.scmagazine.cz/casopis/00-16-00-16/chytra-mobilita_locale_cs)
- Bartodziej, C. J. (2017). *Concept Industry 4.0*. Berlin: BestMasters.
- BEESMARTCITY. (2020). *BUILDING THE SMART CITY: ADVANCING IN SIX FIELDS OF ACTION*. Načteno z Smart City Indicators: <https://hub.beesmart.city/en/smart-city-indicators#pillar-smart-living>
- Beltrán, S. G. (2009). *Udržitelná doprava a mobilita*. Načteno z IUSES: Beltrán, S., G., Coakley, T., Duffy, N., Finta, D., Kern, H., Iancu, M., ... Tomasi, F.
- Biogreen. (2022). *Processes for biomass and waste*. Načteno z Biogreen: <https://www.biogreen-energy.com/>

- BloombergNEF. (16. 12 2020). *Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh*. Načteno z BloombergNEF: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>
- Bosch, H. v. (29. 11 2017). *Smart city: smart story?* Načteno z Smart City Hub: <https://smartcityhub.com/governance-economy/smart-city-smart-story/>
- Browder, G. (2019). *INTEGRATING GREEN AND GRAY*. Načteno z worldbank: <https://oppla.eu/sites/default/files/images/Putting%20Nature%20to%20Work.pdf>
- Burgess, J. (2. 9 2021). *H2 Energy's 1 GW Danish green hydrogen project to supply trucks, stations, industry*. Načteno z S&P Global: <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/market-insights/latest-news/electric-power/090221-h2-energys-1-gw-danish-green-hydrogen-project-to-supply-trucks-stations-industry>
- ČSN. (2021). *ČSN EN 15227 (280321) Železniční aplikace - Požadavky na kolizní odolnost kolejových vozidel*. Načteno z Technické normy ČSN: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-15227-280321-174653.html#>
- ČSÚ. (2018). <https://www.czso.cz>. Načteno z Český statistický úřad: [https://www.czso.cz/documents/10180/23195482/inov\\_metodika\\_ver2020\\_04\\_01.pdf/f0a50926-5dce-48ca-8471-f67efbf61d52?version=1.1](https://www.czso.cz/documents/10180/23195482/inov_metodika_ver2020_04_01.pdf/f0a50926-5dce-48ca-8471-f67efbf61d52?version=1.1)
- Deloitte. (2020). *Fueling the Future of Mobility*. Načteno z Deloitte China: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/finance/deloitte-cn-fueling-the-future-of-mobility-en-200101.pdf>
- DiChristopher, T. (5. 3 2021). *Experts explain why green hydrogen costs have fallen and will keep falling*. Načteno z SPGlobal: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/experts-explain-why-green-hydrogen-costs-have-fallen-and-will-keep-falling-63037203>
- DotaceEU. (2022). *Investiční projekt*. Načteno z Dotace EU: <https://www.dotaceeu.cz/cs/ostatni/dulezite/slovník-pojmu/i/investicni-projekt>
- Drucker, P. (1993). *Inovace a podnikavost: praxe a principy*. Praha: Management Press.

- Dvořák, J. (2006). *Management inovací*. Praha.
- Elhota, R. (2016). *Tramvaje s českým know-how vyrazily do provozu v Číně*. Načteno z enviweb: <https://www.enviweb.cz/105410>
- EU. (2021). *Realizace Zelené dohody pro Evropu*. Načteno z EU: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_cs](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_cs)
- EU parlament . (17. 2 2021). *Velká data (big data): definice, výhody a výzvy (infografika)*. Načteno z Zpravodajství Evropský parlament: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20210211STO97614/velka-data-big-data-definice-vyhody-a-vyzvy-infografika>
- EUCommission. (18. 12 2018). A definition of AI: Main capabilities and scientific disciplines. Brusel. Načteno z [https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/ai\\_hleg\\_definition\\_of\\_ai\\_18\\_december\\_1.pdf](https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/ai_hleg_definition_of_ai_18_december_1.pdf)
- Euklidiadas, M. (7 2021). *THERE'S NO SMART CITY WITHOUT A SMART GOVERNMENT*. Načteno z tomorrow. city: <https://tomorrow.city/a/theres-no-smart-city-without-a-smart-government>
- EWE. (2021). *Hydrogen – a versatile energy carrier*. Načteno z EWE: <https://www.ewe.com/en/shaping-the-future/hydrogen/hydrogen-applications>
- FinMag. (6. 11 2021). *Máme ohromnou budoucnost, říká šéf plzeňské Škody. Nabírá tisíce lidí*. Načteno z FinMag: <https://finmag.penize.cz/byznys/430010-mame-ohromnou-budoucnost-rika-sef-plzenske-skody-nabira-tisice-lidi>
- Foshan. (29. 11 2019). *The world's first hydrogen-powered tram was rolled out in Foshan*. Načteno z Fosahn China: [http://en.foshannews.net/hp/201911/t20191129\\_6324599.html](http://en.foshannews.net/hp/201911/t20191129_6324599.html)
- FOSHAN. (2021). *Foshan*. Načteno z Foshan International: <http://www.foshan.gov.cn/english/aboutfoshan/index.html>
- Francesco Calise, e. a. (2019). *Solar Hydrogen Production*. Elsevier Books.

- Freeman, C. (25. 2 1995). *Information Highways and Social Change*. Ottawa, Kanada: IDRC. Načteno z Wikipedia the free encyclopedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Information\\_superhighway](https://en.wikipedia.org/wiki/Information_superhighway)
- GlobalPetrolPrices. (10 2021). *China electricity prices*. Načteno z GlobalPetrolPrices: [https://www.globalpetrolprices.com/China/electricity\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/China/electricity_prices/)
- Group, R. G. (10. 3 2017). *Foshan hydrogen fuel cell tram contract signed*. Načteno z Metro Report International: <https://www.railwaygazette.com/modes/foshan-hydrogen-fuel-cell-tram-contract-signed/44139.article>
- H2V. (2022). *Value chain coverage*. Načteno z The Hydrogen Valley platform: <https://www.h2v.eu/analysis/statistics/value-chain/overview>
- Hyundai Motor Company . (2020). *Road to Sustainability*. Načteno z Hyundai: <https://www.hyundai.com/content/dam/hyundai/ww/en/images/company/sustainability/about-sustainability/hmc-2020-sustainability-report-en-v2.pdf>
- Chen, J. (14. 7 2021). *Internet of Energy (IoE)*. Načteno z Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/i/internet-energy-ioe.asp>
- China, F. (29. 11 2019). *The world's first hydrogen-powered tram was rolled out in Foshan*. Načteno z Foshan China: [http://en.foshannews.net/hp/201911/t20191129\\_6324599.html](http://en.foshannews.net/hp/201911/t20191129_6324599.html)
- IEA. (6 2019). *The Future of Hydrogen*. Načteno z IEA: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8ab96d80-f2a5-4714-8eb5-7d3c157599a4/English-Future-Hydrogen-ES.pdf>
- Ing. Jaroslav Jasanský. (2006). *Ministerstvo inovační strategie České republiky*. Načteno z Ministerstvo průmyslu a obchodu: <https://www.mpo.cz/dokument11662.html>
- IOT-Portál. (2016). *Kyberfyzikální systémy*. Načteno z <https://www.iot-portal.cz/2016/08/22/kyberfyzikalni-systemy/>
- IQAir. (2022). *Air quality index (AQI) and PM2.5 air pollution in Foshan*. Načteno z IQAir: <https://www.iqair.com/china/guangdong/foshan>
- James, M. (14. 4 2016). *The Internet of Services in Industry 4.0*. Načteno z Manufacturing Operations Management Institute: <https://www.mom-institute.org/the-internet-of-services-in-industry-4-0/>

- Klímová, V. (2006). *Inovační procesy: distanční studijní opora*. Brno: Ekonomicko-správní fakulta. Načteno z <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:2482fd50-8d94-11e7-ab56-005056827e51>
- Knápek, M. (22. 2 2022). *Švédský pilotní zásobník vodíku se přiblížil dokončení*. Načteno z OENERGETICE.CZ: <https://www.hybrid.cz/vodik-sa-uz-da-skladovat-bezpecne/>
- Kodousková, B. (17. 11 2021). *Internet věcí(IOT): Definice,příklady, využití, produkty*. Načteno z Rascasone: <https://www.rascasone.com/cs/blog/iot-internet-veci-definice-produkty-historie>
- Kumar, T. V. (2020). *Smart Enviroments for Smart Cities*. Singapore: Springer Verlag.
- Kurmayer, N. J. (18. 11 2021). *Heating homes with hydrogen fails on economic and climate merit: report*. Načteno z euractiv: [https://www.euractiv.com/section/energy/news/heating-homes-with-hydrogen-fails-on-economic-and-climate-merit-report/?fbclid=IwAR137ixtTWA5DPUOQEJdELpn9ocX6MSF\\_pu0BMRHQjzs\\_Gxz2Hkhv81oeV8](https://www.euractiv.com/section/energy/news/heating-homes-with-hydrogen-fails-on-economic-and-climate-merit-report/?fbclid=IwAR137ixtTWA5DPUOQEJdELpn9ocX6MSF_pu0BMRHQjzs_Gxz2Hkhv81oeV8)
- KurzyCZ. (31. 3 2022). *Zemní plyn - ceny a grafy zemního plynu, vývoj ceny zemního plynu I MMBtu - I rok - měna USD*. Načteno z KurzyCZ: <https://www.kurzy.cz/komodity/zemni-plyn-graf-vyvoje-ceny/>
- Lakušić, S. (2018). *Road and Rail Infrastructure V, Proceedings of the Conference CETRA 2018*. Načteno z CETRA: <https://cetra.grad.hr/ocs/index.php/cetra5/cetra2018/paper/viewFile/812/745>
- LEANINDUSTRY. (2022). *PRŮMYSL 4.0*. Načteno z Lean Industry.
- Lucke, J. v. (2015). *Smart Government* . Načteno z zeppelin universtat: <https://www.zu.de/institute/togi/assets/pdf/ZU-150914-SmartGovernment-V1.pdf>
- Maphill. (2011). *Location Map of Foshan Shi*. Načteno z maphill: <http://www.maphill.com/china/guangdong/foshan-shi/location-maps/savanna-style-map/>

- Martínek, J. (11 2021). *Metodika plánu udržitelné městské mobility*. Načteno z Akademie mobility: [file:///C:/Users/matej/Downloads/Metodika\\_SUMP\\_FINAL+.pdf](file:///C:/Users/matej/Downloads/Metodika_SUMP_FINAL+.pdf)
- Mařík, V. (2016). *Národní iniciativa Průmyslu 4.0*. Načteno z Ministerstvo průmyslu a obchodu: [https://www.spcr.cz/images/2015\\_02\\_03\\_Prumysl\\_4\\_0\\_FINAL.PDF](https://www.spcr.cz/images/2015_02_03_Prumysl_4_0_FINAL.PDF)
- McClellan, S. (2017). *Smart Cities*. Springer International Publishing. Načteno z United States Enviromental Protection Agency.
- Microsoft. (2019). *Co je cloud computing*. Načteno z Azure - Microsoft: <https://azure.microsoft.com/cs-cz/overview/what-is-cloud-computing/#benefits>
- MMČR. (1 2015). *METODICKÁ PŘÍRUČKA (OBECNÝ NÁVOD)*. Načteno z MMČR: <https://webmail.zcu.cz/SOGo/so/mstepan/Mail/0/folderINBOX/1210/4/Metodicka-prirucka-SROI-analyza.pdf>
- MMR. (2018). *Metodika Smart Cities*. Načteno z Ministerstvo pro místní rozvoj: [https://mmr.cz/getmedia/f76636e0-88ad-40f9-8e27-cbb774ea7caf/Metodika\\_Smart\\_Cities.pdf.aspx?ext=.pdf](https://mmr.cz/getmedia/f76636e0-88ad-40f9-8e27-cbb774ea7caf/Metodika_Smart_Cities.pdf.aspx?ext=.pdf)
- MMR. (1 2021). *Ministerstvo pro místní rozvoj*. Načteno z PŘÍLOHA 1: ANALYTICKÝ PODKLAD KONCEPCE SMART CITIES – ODOLNOST PROSTŘEDNICTVÍM SMART ŘEŠENÍ PRO OBCE, MĚSTA A REGIONY: [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.komora.cz%2Ffiles%2Fuploads%2F2021%2F02%2F9\\_P%25C5%2599%25C3%25ADloha\\_1.docx&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.komora.cz%2Ffiles%2Fuploads%2F2021%2F02%2F9_P%25C5%2599%25C3%25ADloha_1.docx&wdOrigin=BROWSELINK)
- NSB. (2022). *Cyber-Physical Systems: Enabling a Smart and Connected World*. Načteno z National Science Foundation: [https://www.nsf.gov/news/special\\_reports/cyber-physical/](https://www.nsf.gov/news/special_reports/cyber-physical/)
- OECD. (2018). *Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data on Innovation 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*. Paris/Luxembourg: Eurostat. Načteno z <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- on-line, N. i. (nedatováno). Načteno z <http://www.mpo.cz/dokument11662.html>
- ORACLE. (2021). *What is IoT?* Načteno z ORACLE: <https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/>

- OSN. (2015). *Cíle udržitelného rozvoje*. Načteno z OSN: [https://www.dataplan.info/img\\_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/a\\_res\\_71\\_313.pdf](https://www.dataplan.info/img_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/a_res_71_313.pdf)
- Paulina Bracher, e. a. (21. 9 2021). *Foshan- the hydrogen technology city*. Načteno z Meet hydrogen: <https://meethydrogen.com/resource/foshan-the-hydrogen-technology-city>
- PMDP. (2022). *Mobilita*. Načteno z Smart City Plzeň: <https://smartcity.plzen.eu/projekty/mobilita/>
- Polysolar. (2021). *SOLAR ENERGY FROM GLASS*. Načteno z Polysolar energy: <https://polysolar.co.uk/technology-projects>
- PPF. (2022). *Škoda Transportation*. Načteno z PPFEU: <https://www.ppf.eu/nase-spolecnosti/skoda-transportation>
- Qubeissi, M. A. (2020). *Renewable Energy - Resources, Challenges and Applications*. IntechOpen.
- SCMP. (22. 9 2018). *Made in China 2025': world's biggest auto market wants to be the most powerful maker of electric cars*. Načteno z SCMP: <https://www.scmp.com/business/china-business/article/2169698/made-china-2025-worlds-biggest-auto-market-wants-be-most?module=inline&pgtype=article>
- SCMP. (12. 12 2020). *Climate change: China's 2060 carbon neutrality goal*. Načteno z SCMP: [https://www.scmp.com/business/series/3111616/climate-change-chinas-2060-carbon-neutrality-goal?module=series\\_LHS\\_header&pgtype=article&campaign=Climate\\_change%3A\\_China%E2%80%99s\\_2060\\_carbon\\_neutrality\\_goal](https://www.scmp.com/business/series/3111616/climate-change-chinas-2060-carbon-neutrality-goal?module=series_LHS_header&pgtype=article&campaign=Climate_change%3A_China%E2%80%99s_2060_carbon_neutrality_goal)
- Seetao. (10. 11 2021). *Qingdao Rail Transit is heading towards a 500 billion-yuan industrial cluster*. Načteno z Seetao: <https://www.seetao.com/details/117104.html>
- SIEMENS. (2022). *Smart grids*. Načteno z siemens: <https://www.siemens.cz/smartcities/smart-grids>

- Skokan, K. (2004). *Konkurenceschopnost, inovace a klastry v regionálním rozvoji*. Ostrava: Repronis.
- Slavík, J. (2017). *Smart City v praxi*. Praha: Profi Press.
- SMOČR. (2020). *SMART Česko: jak uskutečnit SMART řešení*. Načteno z smart česko: [http://prosperujiciobebudoucnosti.cz/wp-content/uploads/2020/03/SMART-Cesko\\_jak-uskutecnit-SMART-reseni.pdf](http://prosperujiciobebudoucnosti.cz/wp-content/uploads/2020/03/SMART-Cesko_jak-uskutecnit-SMART-reseni.pdf)
- Svitek, M. (2016). *Akční plán rozvoje inteligentních dopravních systémů (ITS) v ČR do roku 2020 (s výhledem do roku 2050)*. Načteno z Česká podnikatelská rada pro udržitelný rozvoj: <https://www.mdcz.cz/Dokumenty/Strategie/ITS/Akni-plan-rozvoje-inteligentnich-dopravnich-syste>
- Škoda. (2022). *Škoda*. Načteno z skoda: <https://www.skoda.cz/>
- ŠKODA. (2022). *Vodíkové Autobusy Škoda H'CITY*. Načteno z škoda: <https://www.skoda.cz/produkty-a-sluzby/vodikove-autobusy-skoda-hcity>
- ŠKODOVÁK. (11 2021). ŠKODOVÁK. *časopis zaměstnanců skupiny Škoda Transportation*, str. 20.
- Tae, C. (14. 1 2021). *Hydrogen Safety: Let's Clear the Air*. Načteno z NRDC: <https://www.nrdc.org/experts/christian-tae/hydrogen-safety-lets-clear-air>
- Tóth, J. (2019). *Smart City*. Budapešť, Maďarsko.
- Tůma, J. (29. 12 2015). *Čínská vodíková tramvaj s českým know-how*. Načteno z technický portál: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/prumysl/cinska-vodikova-tramvaj-s-ceskym-know-how\\_33716.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/prumysl/cinska-vodikova-tramvaj-s-ceskym-know-how_33716.html)
- UJV. (2009). *Projekt TriHyBus a čerpací stanice vodíku*. Načteno z UJV: <https://www.ujv.cz/cs/akordeonovy-seznam/projekt-trihybus-a-cerpaci-stanice-vodiku-10255>
- UNECE. (2021). *Forest, land and housing*. Načteno z UNECE: <https://unece.org/forest-land-and-housing>
- Wikipedia. (2 2021). *Fuel cell*. Načteno z wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell)
- Wikipedia. (2022). *Vodík*. Načteno z Wikipedie otevřená encyklopedie: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vod%C3%ADk>



Yujie Xue, E. N. (18. 9 2021). *China's carbon neutral goal: Foshan leads a silent revolution in green transport with its hydrogen trams*. Načteno z South China Morning Post:  
<https://www.scmp.com/business/companies/article/3149113/chinas-carbon-neutral-goal-foshan-leads-silent-revolution-green>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Inovační cyklus.....	12
Obrázek 2 - Historie průmyslu .....	14
Obrázek 3 - Koncept průmyslu 4.0 .....	15
Obrázek 4 - Internet věcí .....	19
Obrázek 5 - Koncept Smart City .....	22
Obrázek 6 - Rámec koncepce Smart City .....	25
Obrázek 7 - Cíle udržitelného rozvoje dle OSN .....	26
Obrázek 8 - 4 úrovně a 3 pilíře konceptu Smart City.....	28
Obrázek 9 - Smart Home.....	32
Obrázek 10 - Koncept Smart Mobility .....	36
Obrázek 11 - Znázornění vstupních surovin pro výrobu vodíku .....	38
Obrázek 12 - Barevná paleta vodíku .....	40
Obrázek 13 - Logo Škoda.....	44
Obrázek 14 - – Lokace evropských podniků skupiny Škoda Transportation a.s. ....	45
Obrázek 15 - ŠKODA H'CITY .....	46
Obrázek 16 - Mapa umístění města Fo-šan .....	47
Obrázek 17 - Návrh nové tramvaje 27T .....	49
Obrázek 18 - Prototyp vodíkové tramvaje .....	50
Obrázek 19 - Schéma obecné funkce vodíkového palivového článku.....	51
Obrázek 20 - Princip fungování vozidla s palivovým článkem .....	51
Obrázek 21 - Plnicí stanice pro tramvaje .....	53
Obrázek 22 - Plán trasy tramvajových linek .....	54
Obrázek 23 - Finální podoba vodíkové tramvaje .....	55
Obrázek 24 - Převod jednotek .....	65

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Souhrnné konstrukční informace tramvaje.....	52
Tabulka 2 - Ceny současně nabízených tramvají Škody Transportation.....	60
Tabulka 3 - Průměrné náklady spotřeby energie na km .....	66

## Seznam Grafů

Graf 1 - Ceny FCEV a BEV tramvají dle dojezdu .....	62
Graf 2 - Rozdělení nákladů FCEV energetického modulu dle komponent.....	62
Graf 3 - Hodnotový řetězec výroby vodíku .....	63
Graf 4 - Predikce vývoje cen systémů palivových článků a souvisejících nákladů na výměnu dílů.....	68

## **Abstrakt**

Štěpán, M. (2022). *Inovace v kontextu Smart City* (Diplomová práce), Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta ekonomická, Česko.

**Klíčová slova:** inovace, průmysl 4.0, Smart City, mobilita, vodík, vodíková tramvaj

Tato diplomová práce řeší téma inovací v kontextu průmyslu 4.0 a Smart City. Cílem této práce bylo vymezit pojmy inovace, průmysl 4.0 a přiblížit koncept Smart City, jako moderní směr strategického plánování měst, který má za úkol pomocí implementace moderních technologií zlepšit efektivitu městské infrastruktury a energetického hospodařením s ohledem na životní prostředí. V praktické části diplomové práce je představen a analyzován projekt světově první vodíkové tramvaje, na kterém se podílela plzeňská Škoda Transportation. Tento ambiciózní projekt vzniknul z potřeby zlepšení kvality ovzduší a také, jako demonstrace vodíkové technologie. Výsledky z analýzy ukazují, že v současné době jsou potřebné vodíkové technologie z větší části připravené ale stále drahé. Tento problém by se dle odhadů měl v následujících letech změnit díky rozsáhlé výrobě vodíku a pohonných komponent spolu s lepší efektivitou technologií.

## **Abstract**

Štěpán, M. (2022). *Inovace v kontextu Smart City* (Diplomová práce), Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta ekonomická, Česko.

**Key words:** innovation, Industry 4.0, Smart City, mobility, hydrogen, hydrogen tram

This work focuses on the topic of innovation in the context of Industry 4.0 and Smart City. The goal was to define the concepts of innovation, Industry 4.0 and to introduce the Smart City concept as a modern direction of strategic urban planning, which targets to improve the efficiency of urban infrastructure and energy management with respect to the environment by implementation of modern technologies. The practical part of the work presents and analyses the world's first hydrogen tram project, in which Škoda Transportation from Plzen, Czech Republic participated. This ambitious project started from the need to improve air quality and also as a demonstration of hydrogen technology. The results of the analysis show that the necessary hydrogen technology is currently largely ready but still expensive. This issue is expected to change in the coming years with large-scale production of hydrogen and fuel cell components along with improved efficiency of the technology.